



TUGAS AKHIR - EE184801

## Desain Antena Microtrip Massive MIMO untuk Aplikasi Base Transceiver Station (BTS) generasi ke-5 (5G)

Faizal Wakhid Nurrokhman  
NRP 07111440000034

Dosen Pembimbing  
Eko Setijadi, S.T.,M.T.,Ph.D  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





FINAL PROJECT - EE184801

## Design Of Massive MIMO *Microstrip* Antenna For 5<sup>th</sup> Generation Base Transceiver Station (BTS) Applications

Faizal Wakhid Nurrokhman  
NRP 07111440000034

Advisor  
Eko Setijadi, S.T.,M.T.,Ph.D  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019



## PERNYATAAN KEASLIAN

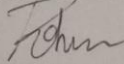
### TUGAS AKHIR

Saya Faizal Wakhid Nurrokhman sebagai penulis Tugas Akhir dengan Judul **“Desain Antena Microtrip Massive MIMO untuk Aplikasi Base Transceiver Station (BTS) generasi ke-5 (5G)”** menyatakan bahwa tugas ini adalah benar-benar karya intelektual saya. Saya dengan sadar sesuai kaidah-kaidah ilmuwan mencantumkan hasil karya-karya orang lain yang saya jadikan landasan berpikir. Semua karya orang lain tersebut saya cantumkan pada daftar pustaka.

Apabila pernyataan diatas tidak sesuai dengan apa yang saya lakukan, saya bersedia dicabut gelar sarjananya.

Semoga tugas akhir ini berguna bagi Tuhan, Bangsa, dan Almamater kita tercinta

Surabaya, 24 Januari 2019



Faizal Wakhid Nurrokhman  
07111440000034

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## LEMBAR PENGESAHAN

**Desain Antena Microstrip Massive MIMO untuk Aplikasi  
Base Transceiver Station (BTS) Generasi Ke-5 (5G)**

### TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing 1**

**Dosen Pembimbing 2**



**Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.**  
**NIP : 197210012003121002**



**Prof. Ir. Gamantyo H, M.Eng., Ph.D.**  
**NIP : 19701111993031002**







# **Desain Antena Microstrip Massive MIMO untuk Aplikasi Base Transceiver Station (BTS) generasi ke-5 (5G)**

Nama Mahasiswa : Faizal Wakhid Nurrokhman

Dosen Pembimbing I : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D

Dosen Pembimbing II : Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRAK**

Perkembangan teknologi untuk memenuhi kebutuhan manusia tidak mungkin bisa jalan ditempat. Salah satunya teknologi seluler yang sedang dikembangkan manusia adalah 5G. Teknologi ini menawarkan efisiensi *bandwidth* yang bagus, *data rate* yang tinggi, serta latensi yang tinggi. Tantangan infrastruktur pembuatan jaringan tersebut sangatlah rumit daripada generasi sebelumnya. Penggunaan millimeter wave sebagai media transmisinya memiliki kelemahan karena sangat rentan terpengaruh oleh *obstacle* lingkungan. Kemudian karena dibutuhkan data rate yang tinggi maka diperlukan banyak antena atau biasa disebut *Massive MIMO*.

Pada tugas akhir ini dilakukan peneitian mengenai antena *Massive MIMO Microstrip crosspolar (Dual Polarization)* untuk memenuhi kebutuhan pembangunan infratraktur tersebut. Kelebihan *crosspolar* disini adalah untuk meminimalisir efek dari millimeter wave yang mudah terpengaruh oleh *obstacle* lingkungan. Desain antena tersebut ada dua, yang pertama desain antena satu layer dengan pencatu *probe feeding*. Sedangkan yang kedua, desain antenanya menggunakan 3 layer *substrate* dengan teknik pencatuan *aperture coupling*. Kedua antena tersebut memiliki dua polarisasi, baik vertikal maupun horizontal..

Antena tersebut bekerja diantara rentang frekuensi 5-6 GHz. Kemudian, kedua antena tersebut memiliki nilai isolasi yang baik pada setiap elemen singlanya. Untuk penyusunan arraynya, antena *probe feeding* disusun dengan jarak antar elemen  $\lambda_g/2$  sedangkan antena *stacked* disusun berjejer langsung. Keduanya disusun secara array linier 1x3. Keduanya memiliki nilai isolasi yang baik dibawah – 20 dB.

**Kata kunci:** Crosspolar, Dual Polarized, Microstrip

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# **Design Of Massive MIMO *Microstrip* Antenna For 5<sup>th</sup> Generation Base Transceiver Station (BTS) Applications**

Student : Faizal Wakhid Nurrokhman

Advisor I : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D

Advisor II : Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D.

## **ABSTRACT**

The development of technology to fulfill human needs. One of the cellular technologies being developed by humans is 5G. This technology offers good bandwidth efficiency, high data rates, and high latency. The challenge of making the network infrastructure is very complicated than the previous generation. The use of millimeter wave as a transmission medium has a weakness because it is very susceptible to being affected by the obstacle environment. Then because a high data rate is needed, a lot of antennas are needed or commonly called Massive MIMO.

In this final assignment, a study of a Massive MIMO crosspolar *Microstrip* (Dual Polarization) was conducted to meet the infrastructure development needs of the infrastructure. Crosspolar's advantage here is to minimize the effects of millimeter waves that are easily affected by the obstacle environment. The antenna design is twofold, the first one layer antenna design with *feeding* probe feeder. Whereas the second, the antenna design uses 3 *substrate* layers with the technique of aperture coupling. Both antennas have two polarization, both vertical and horizontal.

The antenna works between the 5-6 GHz *Frequency* range. Then, the two antennas have good insulation values for each single element. For the array array, antenna *feeding* probes are arranged with distances between elements  $\lambda_g / 2$  while stacked antennas are arranged in direct line. Both are arranged in a 1x3 linear array. Both have isolation values that are well below - 20 dB.

**Keywords:** Crosspolar, Dual Polarized, *Microstrip*

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## Kata Pengantar

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Desain Antena Microtrip Massive MIMO untuk Aplikasi Base Transceiver Station (BTS) generasi ke-5 (5G)”**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 Teknik Elektro pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung, khususnya kepada:

1. Allah SWT dan segala makhluk ciptaan-Nya atas segala pertolongannya
2. Orang tua saya yang selalu mendoakan setiap langkah saya
3. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro ITS yang selama ini memberi ilmunya, khususnya kepada dosen pembimbing Pak Eko Setijadi dan Pak Gamantyo
4. Teman-teman yang selama ini sering bergaul dengan saya yang senang mengobrolkan negara hingga hal tak penting.
5. Terima kasih khususnya kepada Don, Az, dan Gus yang telah meminjamkan uang saya untuk nonton Guns N Roses.
6. Terima kasih Guns N Roses karena telah datang ke Indonesia menghibur saya ketika saya dalam kebingungan.

Saya sebagai penulis menyadari tanpa kehadiran kalian penulisan Tugas Akhir ini tidak akan pernah terselesaikan dengan baik. Mohon maaf jika ada salah kata. Semoga buku ini bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan, serta bisa saja dijadikan bantal tidur bagi anak-anak laboratorium.

Surabaya, 24 Januari 2019

Penulis

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## Daftar Isi

Halaman Depan.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
Kata Pengantar .....	xiii
Daftar Isi .....	xv
Daftar Gambar .....	xix
Daftar Tabel .....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Laporan .....	3
1.7 Relevansi .....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Antena dan Parameternya .....	5
2.1.1 Pola Radiasi.....	7
2.1.2 Beamwidth .....	11
2.1.3 Directivity.....	12
2.1.4 Gain .....	13

2.1.5 Polarisasi .....	14
2.1.6 Return Loss .....	16
2.1.7 VSWR .....	18
2.1.8 Bandwidth .....	18
2.2 <i>S-Parameter</i> .....	19
2.3 Antena <i>Microstrip</i> .....	20
2.4 Array Linier N elemen .....	26
2.5 Array Planar N elemen .....	27
2.6 Mutual Coupling .....	29
2.7 Sistem MIMO (Multiple-Input Multiple-Output).....	31
2.8 Massive MIMO .....	32
2.9 Metode Pengukuran Antena .....	34
2.9.1 Pengukuran Scattering Parameter, VSWR, dan Impedansi Input Antena.....	34
2.9.2 Pengukuran Pola Radiasi Antena .....	35
2.9.3 Pengukuran Polarisasi Antena.....	37
2.9.4 Pengukuran Gain.....	38
<b>BAB 3 PERANCANGAN ANTENA.....</b>	<b>41</b>
3.1 Alur Perancangan .....	42
3.2 Kriteria dan spesifikasi Antena <i>Microstrip</i> .....	43
3.3 Pengaturan Simulasi Antena.....	44
3.3.1 Pengaturan Frekuensi .....	46
3.3.2 Field Monitors.....	46
3.3.3 Pengaturan Boundaries .....	48
3.3.4 Pengaturan <i>Background</i> .....	49
3.3.5 Pengaturan Port.....	50



3.3.6 Pengaturan Solver.....	53
3.4 Perancangan dan Simulasi .....	55
3.4.1 Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	55
3.4.2 Antena Stacked.....	60
3.5 Optimasi Desain Elemen Tunggal Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	62
3.5.1 Modifikasi Jenis Antena .....	62
3.5.2 Modifikasi Penambahan <i>Substrate</i> .....	63
3.5.3 Modifikasi Lebar Gap Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	66
3.5.4 Antena Single Terpilih jenis <i>Slot Rectangular</i> .....	73
3.6 Optimasi Desain Elemen Tunggal Antena Stacked .....	75
3.6.1 <i>Feeding Structure Line</i> Antena Stacked.....	76
3.6.2 Perubahan Posisi Pencatu Antena Stacked .....	78
3.6.3 Antena Single Terpilih jenis Antena Stacked .....	81
3.7 Penyusunan Antena <i>Slot Rectangular</i> Secara Array .....	84
3.7.1 Pengaruh Jarak antar Elemen .....	84
Bab 4 REALISASI DAN PENGUKURAN KERJA ANTENA .....	99
4.1 Pengukuran Antena Tunggal .....	100
4.1.1 Pengukuran <i>S-Parameter</i> .....	100
4.1.2 Pengukuran Gain .....	107
4.1.3 Pengukuran Pola Radiasi.....	107
4.2 Analisa Antena Elemen Tunggal .....	109
4.3 Analisa Antena <i>Slot Rectangular</i> Array 1x3.....	117
Bab 5 PENUTUP .....	131
5.1 Kesimpulan.....	131
5.2 Saran .....	132
DAFTAR PUSTAKA .....	133

Lampiran..... 135

    Lampiran 1 ..... 135

    Lampiran 2 ..... 136

    Lampiran 3 ..... 137

    Lampiran 4 ..... 138

    Lampiran 5 ..... 139

Riwayat Hidup..... 140

## Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Rangkaian Ekuivalensi untuk antena pemancar [1].....	5
Gambar 2. 2 Rangkaian Ekuivalen Antena Penerima [1].....	6
Gambar 2. 3 Pola Radiasi Antena [1].....	10
Gambar 2. 4 Macam Pola Radiasi (a) Isotropic (b) Omnidirectional (c) Directional [1].....	11
Gambar 2. 5 Polarisasi Linier [1] .....	16
Gambar 2. 6 Polarisasi Eliptical [1] .....	16
Gambar 2. 7 Two Port Networks (Koleksi Pribadi) .....	20
Gambar 2. 8 Antena Patch <i>Microstrip</i> [1].....	21
Gambar 2. 9 Coaxial Probe <i>Feeding</i> [1] .....	23
Gambar 2. 10 Normalized Input Resistance [1] .....	23
Gambar 2. 11 Aperture Coupling [3] .....	25
Gambar 2. 12 Proximity Coupling [3] .....	26
Gambar 2. 13 Array N Planar [3].....	27
Gambar 2. 14 Skema Mutual Coupling pada Antena Pengirim [1].....	30
Gambar 2. 15 Skema Mutual Coupling pada Antena Penerima [1] .....	30
Gambar 2. 16 Skema MIMO.....	31
Gambar 3. 1 Flowchart Perancangan Antena.....	41
Gambar 3. 2 Flowchart Perancangan Antena Lanjutan.....	42
Gambar 3. 3 Jendela Awal CST 2017 .....	45
Gambar 3. 4 Setting Frekuensi .....	46
Gambar 3. 5 Jendela Setting Monitoring Fields.....	47
Gambar 3. 6 Jendela Pengaturan Boundaries .....	48
Gambar 3. 7 Jendela Pengaturan <i>Background</i> .....	50
Gambar 3. 8 Jendela Pengatur Port Extension .....	51
Gambar 3. 9 Pick Face pada Port .....	52
Gambar 3. 10 Jendela Pengaturan Waveguide Port .....	53
Gambar 3. 11 Jendela Pengaturan Time Solver .....	54
Gambar 3. 12 Ukuran Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	56
Gambar 3. 13 Tampilan <i>S-Parameters</i> Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	57
Gambar 3. 14 Medan E-Plane Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	58
Gambar 3. 15 Medan H-Plane Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	58

Gambar 3. 16 Hasil <i>Combine E-Plane</i> Port 1 dan 2 .....	59
Gambar 3. 17 Hasil <i>Combine H-Plane</i> pada Port 1 dan 2 .....	59
Gambar 3. 18 Antena Stacked .....	60
Gambar 3. 19 Wire Graph Antena Stacked.....	61
Gambar 3. 20 Tampak Belakang Antena Stacked .....	61
Gambar 3. 21 Modifikasi Probe <i>Feeding</i> Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	62
Gambar 3. 22 Tampak Depan Antena 1.....	63
Gambar 3. 23 Tampak Samping Antena dengan <i>Substrate</i> double.....	64
Gambar 3. 24 <i>S-Parameter</i> Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	65
Gambar 3. 25 Antena Probe <i>Feeding</i> dengan <i>Substrate</i> double .....	65
Gambar 3. 26 <i>S-Parameter</i> Antena gambar 3.24.....	66
Gambar 3. 27 <i>S-Parameters</i> Gap 0.13 mm.....	67
Gambar 3. 28 <i>S-Parameters</i> modifikasi Gap 0.13 mm.....	68
Gambar 3. 29 <i>E-Plane</i> Antena modifikasi Gap 0.13 mm .....	69
Gambar 3. 30 <i>H-Plane</i> Antena modifikasi Gap 0.13 mm.....	69
Gambar 3. 31 Return Loss modifikasi Gap 0.3 mm .....	70
Gambar 3. 32 <i>S-Parameters</i> modifikasi Gap 0.3 mm.....	71
Gambar 3. 33 <i>E-Plane</i> modifikasi Gap 0.3 mm.....	71
Gambar 3. 34 <i>H-Plane</i> modifikasi Gap 0.3 mm .....	72
Gambar 3. 35 Perbandingan Return Loss 0.13 mm dengan 0.3 mm.....	73
Gambar 3. 36 Ukuran Antena Terpilih .....	74
Gambar 3. 37 <i>GroundPlane</i> Antena Stacked Modif.....	75
Gambar 3. 38 <i>Strips Plane</i> Antena Stacked.....	76
Gambar 3. 39 <i>Feeding Line A</i> .....	77
Gambar 3. 40 <i>Feeding Line B</i> .....	77
Gambar 3. 41 Perbandingan Return Loss A dan B .....	78
Gambar 3. 42 Return Loss Pencatu 6.5 mm .....	79
Gambar 3. 43 Return Loss Pencatu 4 mm .....	79
Gambar 3. 44 Perbandingan Pencatu 6.5 mm dan 4 mm .....	80
Gambar 3. 45 Perbandingan VSWR Pencatu 6.5 mm dan 4 mm.....	80
Gambar 3. 46 Tampilan Depan Antena Stacked.....	81
Gambar 3. 47 Tampilan <i>Strips Plane</i> Antena Stacked.....	82
Gambar 3. 48 Tampilan <i>GroundPlane</i> Antena Stacked.....	83
Gambar 3. 49 <i>Feeding Structure</i> Antena Stacked.....	83

Gambar 3. 50 Skema Penyusunan Antena Array Linier .....	84
Gambar 3. 51 <i>S-Parameters</i> Antena $\Lambda/2$ .....	85
Gambar 3. 52 <i>E-Plane</i> Antena $\Lambda/2$ .....	86
Gambar 3. 53 Farfield Antena $\Lambda/2$ .....	86
Gambar 3. 54 <i>E-Plane Combine</i> port vertikal .....	87
Gambar 3. 55 Surface Current Polarisasi Vertikal .....	87
Gambar 3. 56 Antena <i>Combine</i> Port Horizontal .....	88
Gambar 3. 57 Surface Current Port Horizontal .....	88
Gambar 3. 58 <i>S-Parameters</i> Antena $\Lambda/4$ .....	89
Gambar 3. 59 <i>E-Plane</i> Antena $\Lambda/4$ .....	89
Gambar 3. 60 Farfield Antena $\Lambda/4$ .....	90
Gambar 3. 61 <i>E-Plane Combine</i> Port Vertikal .....	91
Gambar 3. 62 Surface Current Port Vertikal .....	91
Gambar 3. 63 <i>E-Plane Combine</i> Port Horizontal .....	92
Gambar 3. 64 Surface Current Antena <i>Combine</i> Port Horizontal .....	92
Gambar 3. 65 <i>S-Parameters</i> $\Lambda/8$ .....	93
Gambar 3. 66 <i>E-Plane</i> Antena $\Lambda/8$ .....	93
Gambar 3. 67 Farfield Antena $\Lambda/8$ .....	94
Gambar 3. 68 <i>E-Plane Combine</i> Port Vertical .....	94
Gambar 3. 69 Surface Current <i>Combine</i> Port Vertical .....	95
Gambar 3. 70 <i>E-Plane Combine</i> Port Horizontal .....	95
Gambar 3. 71 Surface Current Port Horizontal .....	96

Gambar 4. 1 Realisasi Antena Slot Rectangular (a) ; Realisasi Antena Stacked (b) .....	99
Gambar 4. 2 $S_{11}$ Pengukuran Antena Slot Rectangular .....	101
Gambar 4. 3 $S_{22}$ Pengukuran Antena Slot Rectangular .....	101
Gambar 4. 4 <i>S-Parameter</i> Antena Slot Rectangular .....	102
Gambar 4. 5 Pengukuran Impedansi Antena Slot Rectangular Port 1. ....	103
Gambar 4. 6 Pengukuran Impedansi Slot Rectangular Port 2 .....	103
Gambar 4. 7 $S_{11}$ Antena Stacked Pengukuran port 1 .....	104
Gambar 4. 8 $S_{22}$ Antena Stacked Pengukuran port 2 .....	105
Gambar 4. 9 Smith Chart Antena Stacked Port 1 .....	106
Gambar 4. 10 Smirt Chart Antena Stacked Port 2 .....	106

Gambar 4. 11 Pengukuran Port 1 Antena Slot Rectangular .....	108
Gambar 4. 12 Pengukuran Port 2 Antena Slot Rectangular .....	108
Gambar 4. 13 Pengukuran Pola Radiasi Antena Stacked .....	109
Gambar 4. 14 S-Parameter Simulasi.....	110
Gambar 4. 15 Co-Polar dan Cross-Polar Bidang E port 1 .....	110
Gambar 4. 16 Co-Polar dan Cross- Polar bidang E port 2 .....	111
Gambar 4. 17 Axial Ratio Antena Array .....	112
Gambar 4. 18 Farfield 3D .....	112
Gambar 4. 19 Farfield Polar .....	113
Gambar 4. 20 Surface Current pada Antena .....	113
Gambar 4. 21 S-Parameter Simulasi Antena Stacked.....	114
Gambar 4. 22 Co-Polar dan Cross-Polar port 1 .....	114
Gambar 4. 23 Co-Polar dan Cross-Polar Port 2 .....	115
Gambar 4. 24 Surface Current Antena Stacked .....	116
Gambar 4. 25 Farfield Polar Antena Stacked .....	116
Gambar 4. 26 Farfield 3D Antena Stacked .....	117
Gambar 4. 27 Axial Ratio Antena Stacked .....	117
Gambar 4. 28 Penampang Antena Array .....	118
Gambar 4. 29 S-Parameter Pengukuran Antena Slot Rectangular ke-1 .....	119
Gambar 4. 30 S-Parameter Pengukuran Antena Slot Rectangular ke-2 .....	119
Gambar 4. 31 Surface Current Antena Slot Rectangular Array 1x3 ....	120
Gambar 4. 32 $S_{12}$ Simulasi Antena Slot Rectangular.....	121
Gambar 4. 33 Surface Current Antena Slot Rectangular ke-1 port 1...	121
Gambar 4. 34 $S_{21}$ Simulasi Antena Slot Rectangular.....	122
Gambar 4. 35 Surface Current Antena Slot Rectangular ke-1 port 2...	122
Gambar 4. 36 S-Parameter Simulasi.....	123
Gambar 4. 37 S-Parameter Pengukuran.....	123
Gambar 4. 38 Co-Polar dan Croos-Polar Port Ganjil Antena Array ....	124
Gambar 4. 39 Axial Ratio port Ganjil Antena Array .....	124
Gambar 4. 40 Co-Polar dan Croos-Polar Port Genap Antena Array ...	125
Gambar 4. 41 Axial Ratio Port Genap Antena Array .....	125
Gambar 4. 42 Surface Current Antena Slot Rectangular Array 1x3 ....	126
Gambar 4. 43 Farfield Polar Antena Slot Rectangular Array 1x3 .....	127
Gambar 4. 44 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 1 .....	127

Gambar 4. 45 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 2 .....	128
Gambar 4. 46 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 3 .....	128
Gambar 4. 47 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 4 .....	129
Gambar 4. 48 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 5 .....	129
Gambar 4. 49 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 6 .....	130

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## Daftar Tabel

Tabel 3. 1 Spesifikasi <i>Substrate</i> .....	44
Tabel 3. 2 Spesifikasi Antena.....	44
Tabel 3. 3 Keterangan <i>S-Parameters</i> Antena <i>Slot Rectangular</i> .....	57
Tabel 3. 4 Parameter Antena Stacked .....	60
Tabel 3. 5 Perbandingan Kapasitas Percetakan.....	67
Tabel 3. 6 <i>S-Parameters</i> Gap 0.13 mm.....	68
Tabel 3. 7 Perbandingan Gap 0.3 mm dengan 0.13 mm .....	73
Tabel 3. 8 Parameter Antena Terpilih .....	74
Tabel 3. 9 Tabel Perbandingan Jarak Array.....	97
Tabel 3. 10 Jarak Array dengan Spurious Lobe .....	97
Tabel 4. 1 Nilai Axial Ratio pada CST .....	112
Tabel 4. 2 Mutual Coupling Inspection.....	118

***Halaman Ini Sengaja Dikosongkan***

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Masyarakat pada era abad ke-21 ini akan mengalami masa seperti masyarakat pada awal abad ke-18. Masyarakat era ini akan mengalami masa dimana kegiatan harian dalam melakukan sesuatu akan diubah total oleh adanya revolusi. Pada era ini bukan revolusi mekanik seperti masyarakat abad yang lampau. Masyarakat abad ini akan mengalami Revolusi Industri 4.0.

Dari Revolusi Industri 1.0 pada awal abad ke-18 dengan ditemukannya mesin uap untuk menggantikan tenaga manusia. Kemudian diikuti revolusi industri kedua yang menggunakan penggunaan energi listrik dalam proses industri. Hingga industri menggunakan mesin secara otomatis yang biasa disebut sebagai Revolusi Industri 3.0. Revolusi Industri 4.0 adalah transformasi bagaimana cara kita memproduksi suatu barang untuk tujuan efisiensi dengan menggunakan teknologi jaringan. Revolusi Industri 4.0 adalah penyempurnaan dari Revolusi Industri 3.0. Pada Revolusi Industri 4.0 diharapkan semua perangkat otomatis bisa saling berkomunikasi. Maka dari itu teknologi jaringan sangat dibutuhkan pada industri kali ini. [1]

Teknologi jaringan seluler saat ini yaitu Long Term Evolution (LTE) atau biasa disebut generasi ke-4 belum mencukupi jika digunakan pada revolusi industri ini. Alasannya perkembangan teknologi 4G baru dapat mencapai data rate hingga 1 GBps untuk mobilitas yang rendah dan mencapai 100 Mbps untuk mobilitas yang tinggi. Hal ini jauh dari harapan Revolusi Industri 4.0 [2]

Teknologi 5G ditargetkan bisa memiliki data rate hingga 10x lebih cepat, latensi yang rendah, dan juga efisiensi bandwidth dibandingkan teknologi sebelumnya. Salah satu penunjang dari perangkat pada teknologi kali ini adalah dengan diterapkannya antena massive MIMO pada perangkat BTS kelak.

Massive MIMO adalah pemasangan antenna MIMO seperti pada umumnya. Namun pada teknologi ini menggunakan banyak antenna jamak sehingga menambah banyak access point untuk perangkat user. Sehingga untuk penggunaan frekuensi menjadi lebih efisien. [2]

Pada tugas akhir kali ini berfokus pada bagaimana cara mendesain perangkat *frontend*: antenna microstrip untuk keperluan 5G ini. Fokuskan pada tugas akhir ini melihat parameter mutual coupling, impedansi input, pola radiasi, gain, dan polarisasi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

- a. Bagaimana mendesain antenna *array Microstrip cross polar* untuk keperluan 5G ?
- b. Bagaimana menentukan bentuk struktur antenna yang paling sederhana dan padu?
- c. Bagaimana memenuhi desain antenna yang memenuhi spesifikasi ?
- d. Membandingkan antenna dengan satu substrat dan double substrat?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian Tugas Akhir terfokuskan, beberapa batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut:

- a. Frekuensi kerja antenna memenuhi pada lampiran 1
- b. *Software* untuk simulasi antenna adalah CST Studio Suite 2017
- c. Bahan *substrate* pembuat antenna adalah FR-4
- d. Fabrikasi antenna
- e. Pengujian dilakukan di Laboratorium

## 1.4 Tujuan

Nilai yang ingin dicapai dalam Tugas Akhir “*Desain Antena Microstrip Massive MIMO untuk Aplikasi Base Transceiver Station (BTS) generasi ke-5 (5G)*” adalah sebagai berikut:

- a. Merancang antenna yang mampu bekerja pada frekuensi kerja yang kemungkinan digunakan oleh 5G.
- b. Mengetahui parameter kinerja antenna tersebut baik single maupun *array*.

## 1.5 Metodologi Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang telah diinginkan maka diperlukan langkah-langkah yang tercantum dalam metodologi Tugas Akhir. Adapun metodologi yang digunakan adalah sebagaimana berikut:

### a. Studi Literatur

Mencari dan mempelajari pustaka tentang teori Antena *Microstrip*, Mutual Coupling, dan array antena *Microstrip*

### b. Pemodelan Sistem

Melakukan perencanaan desain antena *Microstrip cross polar*

1. Simulasi antena *Microstrip* pada frekuensi *S-Band* menggunakan *software* CST
2. Rancang bangun antena berdasarkan hasil simulasi.

### c. Pengukuran

Pengukuran merupakan sebuah kegiatan yang dimaksudkan untuk pengambilan data-data secara langsung. Sehingga bisa dimanfaatkan untuk keperluan analisa data.

### d. Analisis

Analisis yang dilakukan mengenai data daya yang dihasilkan oleh sistem yang telah dirancang. Data akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Perbedaan antara kedua data tersebut akan dibandingkan untuk dijadikan dasar dari analisa.

### e. Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini akan membandingkan hasil parameter-parameter pengukuran tersebut dengan hasil simulasi. Kemudian dari hasil kegiatan sebelumnya, meliputi perancangan, simulasi, dan pengukuran dikerucutkan sehingga membentuk kesimpulan penelitian tersebut.

### f. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

## 1.6 Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini disusun secara sistematis yang tertuang dalam beberapa bab. Perincian bab sebagaimana berikut:

### Bab I Pendahuluan

Bab ini berisikan penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika laporan.

## **Bab II Tinjauan Pustaka**

Bab ini menjelaskan ruang lingkup teori-teori yang mendukung pada judul tugas akhir ini.

## **Bab III Perancangan Antena**

Dalam bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah yang harus dilalui untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir tahap ini adalah rancangan akhir hasil simulasi dari desain antenna yang akan dibuat.

## **Bab IV Realisasi dan Pengukuran Antena**

Bab ini berisi realisasi desain antena dan pengukuran kinerja dari antena tersebut. Kemudian dilakukan analisis dan pembahasan yang berorientasi pada tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

## **Bab V Penutup**

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan pada penelitian selanjutnya.

### **1.7 Relevansi**

Tugas akhir ini diharapkan mampu digunakan sebagai

1. Referensi penelitian pengembangan antena *massive MIMO* untuk generasi kelima (5G)
2. Sebagai referensi pengembangan antena untuk *low mutual coupling*

## BAB 2

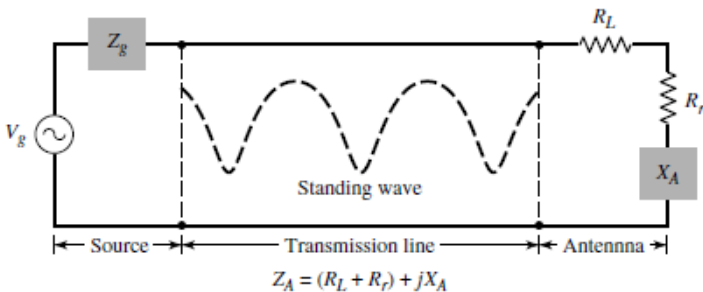
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Antena dan Parameternya

Dalam sebuah sistem komunikasi nirkabel diperlukan sebuah perangkat sebagai media untuk mengirimkan dan menerima gelombang elektromagnetik ke ruang bebas. Perangkat tersebut adalah antena. Menurut *The IEEE Standard Definitions of Term of Antennas* (IEEE Std 145-1983) mendefinisikan antena merupakan sebuah alat untuk memancarkan dan menerima gelombang radio [1]. Antena bisa didefinisikan sebagai perantara dari ruang bebas ke *transmission line* maupun sebaliknya. *Transmission line* merupakan media yang berfungsi menghantarkan gelombang, ketika saluran transmisi memiliki panjang tak terhingga maka akan timbul gelombang serba sama sedangkan bila dihubungkan-singkatkan akan timbul gelombang berdiri.

##### Antena Pemancar

Antena sebagai pemancar dipandang dari sudut teori rangkaian listrik adalah sebagai impedansi ekuivalen yang mendisipasikan daya listrik yang diterima dari sumber [1]. Sehingga jika dipandang dari sudut teori tersebut, antena sebagai beban memiliki persamaan  $Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$ . Dimana membentuk rangkaian seri dengan generator yang dihubungkan oleh *transmission line*.



Gambar 2. 1 Rangkaian Ekuivalensi untuk antena pemancar [1]

Dari gambar 2.1, hambatan beban,  $R_L$  mempresentasikan sebagai rugi-rugi dielektrik dan konduksi dari antenna. Lalu, Hambatan radiasi,  $R_r$  mempresentasikan radiasi dari antenna. Sedangkan Rektansi,  $X_A$  mempresentasikan hambatan imajinatif dari antenna.

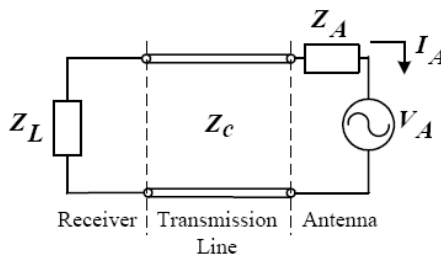
Secara teoritis, ketika kondisi ideal daya yang dialirkan ke antenna dipancarkan semuanya oleh hambatan radiasi,  $R_r$ .

Dasar hukum benda dapat meradiasikan energinya adalah Hukum Maxweel tentang arus perpindahan. Benda jika dialiri arus yang berubah-ubah terhadap waktu atau mengatur perubahan muatan, maka benda akan meradiasikan energi dengan sendirinya. Dibawah ini ada beberapa aturan tentang radiasi [1]

1. Jika muatan tidak bergerak, maka tidak akan terjadi arus yang mengakibatkan tidak terjadinya radiasi
2. Jika muatan bergerak dengan kecepatan yang uniform maka
  - Tidak akan ada radiasi jika penampang lurus tak berhingga
  - Ada radiasi jika penampang melengkung, bengkok, discontinuous, maupun terpotong
3. Jika muatan berubah terhadap waktu maka akan terjadi walaupun penampangnya lurus.

### Antena Penerima

Sebuah antenna disebut sebagai antenna penerima ketika antenna tersebut dapat mengubah kerapatan medan elektromagnetik dari ruang bebas menjadi sinyal-sinyal listrik. Ada dua cara untuk menghitung daya yang diterima antenna, berdasarkan medan listrik datang (*Incident Electric Field*) dan kerapatan daya datang (*Incident Power Density*) [2].



Gambar 2. 2 Rangkaian Ekuivalen Antena Penerima [1]



Pada pendekatan analisa daya terima antenna berdasarkan medan listrik datang. Ketika gelombang medan elektromagnetik serbasama datang ( $E^i$ ) menginduksi penampang antenna ( $h$ ) sedemikian hingga akan timbul tegangan ( $V_A$ ) pada ujung-ujung terminal antenna. Nilai dari  $V_A$  dan  $E^i$  adalah harga puncak dari *root mean square* (rms).

$$h = \frac{V_A}{E^i} \quad (2. 1)$$

*h merupakan panjang penampang antenna terhadap polarisasi antenna.*

Sedangkan pada pendekatan analisa daya terima antenna berdasarkan intensitas daya gelombang datang memandang sebagai pengubahan rata-rata waktu intensitas flux ( $S$ ) menjadi daya terima berdasarkan luas tangkap efektif antenna ( $A_{em}$ ). Nilai maksimum daya terima ketika antenna penerima dengan pengirim saling point to point.

$$P_{rm} = S A_{em} \quad (2. 2)$$

### 2.1.1 Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan pendefinisian dari garis-garis medan elektromagnetik dengan menggunakan fungsi matematika sebagai fungsi ruang. Pendefinisian pola radiasi biasanya dalam kondisi *far field* / medan jauh.

Kondisi medan jauh terpenuhi jika :

$$R > \frac{2 D^2}{\lambda} \quad (2. 3)$$

Dimana :

$D$  = Panjang antenna (m)

$R$  = Titik pusat koordinat ke pengamatan (m)

$\lambda$  = Panjang gelombang antenna (m)

Dalam pembuatan grafik pola radiasi ada beberapa bentuk penggunaan yang sudah wajar

- a. Pola medan (skala linier)  
Pola ini mempresentasikan penggambaran magnitudo dari medan listrik maupun medan magnet sebagai fungsi sudut.
- b. Pola daya (skala linier)  
Pola ini mempresentasikan penggambaran kuadrat magnitudo dari medan listrik maupun medan magnet sebagai fungsi sudut
- c. Pola daya (skala *non – linier*)  
Pola ini mempresentasikan penggambaran magnitudo dari medan listrik maupun medan magnet dalam desibel sebagai fungsi sudut.

Di dalam koordinat bola, telah diketahui komponen medan listrik dan medan magnet yang keduanya memiliki komponen vektor  $\theta$  dan  $\phi$ . Dalam koordinat Masing-masing menyatakan komponen sudut elevasi dan sudut azimuth. Sedangkan vektor *pyntingnya* dalam koordinat ini hanya mempunyai komponen radial saja menurut persamaan berikut:

$$P_r = \frac{1}{2} \frac{|E|^2}{\eta} \quad (2.4)$$

Dimana :

$|E|$  = menyatakan nilai real dari komponen medan listrik ( $E_\theta$ ) atau medan magnet ( $E_\phi$ )

$\eta$  = impedansi intrinsik ruang bebas ( $377 \Omega$ )

Penggambaran bentuk grafis pola radiasi bisa menggunakan nilai absolut atau nilai *relative*. Nilai absolut merupakan nilai yang murni didapat dari pengukuran tanpa pengolahan. Sedangkan nilai relatif merupakan setiap nilai dari hasil pengukuran dinormalisasikan terhadap nilai maksimum pengukuran. Persamaan untuk menentukan pola radiasi ternormalisasi adalah sebagai berikut:

$$F_{(\theta,\phi)} = \frac{P_{(\theta,\phi)}}{E_{(\theta,\phi)max}} \quad (2.5)$$

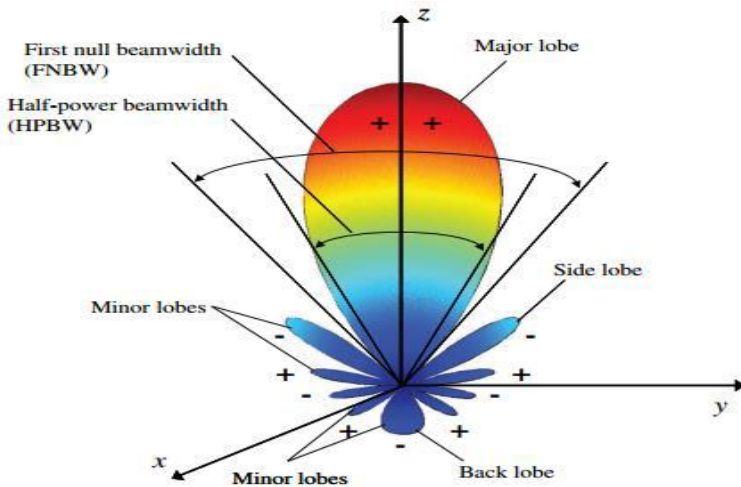
Vektor *pointing* hanya mempunyai komponen radial dan menurut persamaan daya total yang ditransmisikan berbanding lurus dengan kuadrat kuat medan magnitudonya. Sehingga pola daya apabila dinyatakan dalam pola ternormalisasi sama dengan kuadrat dari pola medan yang sudah dinormalisasikan

$$P_{(\theta,\phi)} = |F_{\theta,\phi}|^2 \quad (2.6)$$

Persamaan diatas digunakan untuk penentuan pola radiasi pada skala linier. Sedangkan jika ingin membuat dalam skala desibel maka menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{(\theta,\phi)}(dB) = 20 \text{ Log} |F_{\theta,\phi}| \quad (2.7)$$

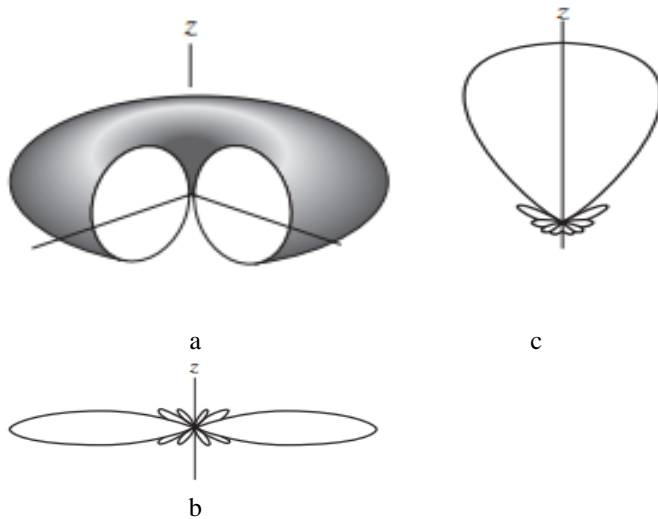
Perhitungan pola radiasi sesuai persamaan diatas akan membentuk sebuah pola radiasi unik. Salah satu contoh bentuk pola radiasi ada pada gambar 2.3 . Secara umum, antena memiliki beberapa *lobe* atau *beam*, yaitu *main lobe* dan *minor lobe*. *Main lobe* adalah *lobe* yang memiliki nilai radiasi terbesar diantara *lobe* lainnya. *Main lobe* terdiri dari *HPBW* (*Half Power Beamwidth*) dan *FNBW* (*First Null Beamwidth*). *HPBW* adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi setengahnya (-3 dB) dari intensitas maksimal. *FNBW* adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi nol. Sedangkan *minor lobe* adalah *lobe* yang memiliki nilai pancaran lebih rendah dari *main lobe*. *Minor lobe* dikelompokkan lagi menjadi *side lobe* dan *back lobe*. Pada gambar 2.3, *side lobe* terdapat pada sisi dari *main lobe*. Sedangkan *back lobe* adalah *lobe* yang posisi pancarannya bertolak belakang dengan *main lobe*.



Gambar 2. 3 Pola Radiasi Antena [1]

Pada dasarnya pola radiasi bersifat unik, secara umum pola tersebut bisa dikelompokkan menjadi

- a. *Isotropic*  
Pola radiasi *isotropic* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi yang sama ke segala arah, sedemikian hingga bentuk pancarannya menyerupai bentuk bola
- b. *Omnidirectional*  
Pola radiasi omnidirectional adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi ke segala arah
- c. *Directional*  
Pola radiasi directional adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi ke arah tertentu. Pola radiasi ini merupakan yang paling efektif.



Gambar 2. 4 Macam Pola Radiasi (a) Isotropic (b) Omnidirectional (c) Directional [1]

### 2.1.2 Beamwidth

Pendefinisian *beamwidth* adalah selisih sudut antara dua titik identik dari sebuah *main lobe*. Beamwidth dapat dikategorikan menjadi *HPBW* dan *FNBW*.

Menurut *IEEE*, *HPBW* adalah sudut antara dua titik pada *main lobe* yang mana mempunyai nilai setengah dari maksimal intensitasnya. Pada pola daya, titik ini merupakan posisi dimana pola dayanya turun setengah dari nilai daya maksimalnya pada skala linier. Sedangkan pada skala desibel, *HPBW* merupakan daya yang turun sebanyak 3 dB dari nilai maksimumnya. Sementara untuk pola medannya, titik ini berada ketika pola medan turun menjadi 0,707 kali.

*FNBW* merupakan selisih sudut ketika *main lobe* mencapai nilai nol pertama pada kedua sisi. Untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada gambar berikut

Beamwidth pada antenna memiliki hubungan berbanding terbalik dengan nilai side lobe. Dalam mendesain antenna, khususnya array,

apabila nilai *beamwidth berkurang*, maka side lobe level akan cenderung naik. Begitupun sebaliknya

### 2.1.3 Directivity

*Directivity* merupakan rasio antara intensitas radiasi pada suatu arah tertentu terhadap rata-rata intensitas radiasi ke segala arah. Rata-rata intensitas radiasi sama dengan jumlah total energy yang diradiasikan dibagi dengan  $4\pi$ .

Secara matematis, directivity secara umum dinyatakan:

$$D = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2. 8)$$

Dimana

$U$  = intensitas radiasi yang diamati (W/solid angle)

$P_{rad}$  = Daya total yang dipancarkan (W)

$D$  = Directivity

$U_o$  = Intensitas radiasi antenna isotropic

Perkembangan di dunia telekomunikasi telah begitu cepat. Untuk menghadapi tantangan pengembangan sistem komunikasi nirkabel, teknologi antena ke depannya tidak mengandalkan satu polarisasi saja. Tapi dua polarisasi yang *orthogonal* antar keduanya. (riset antena kotak)

Konsep perhitungan directivitas ini yaitu pola radiasi yang saling berkorespondensi dari pola radiasi antena dibagi dengan total intensitas radiasi. Dalam persamaan berikut dibedakan dalam  $\theta$  dan  $\varphi$ .

$$D_0 = D_\theta + D_\varphi \quad (2. 9)$$

Directivity sebagian  $D_\theta$  dan  $D_\varphi$  diekspresikan sebagai berikut:

$$D_\theta = \frac{4\pi U_\theta}{(P_{rad})_\theta + (P_{rad})_\varphi} \quad (2. 10)$$

$$D_{\varphi} = \frac{4\pi U_{\varphi}}{(P_{rad})_{\theta} + (P_{rad})_{\varphi}} \quad (2.11)$$

Dimana,

$U_{\theta}$  = intensitas radiasi pada komponen  $\theta$

$U_{\varphi}$  = intensitas radiasi pada komponen  $\varphi$

$(P_{rad})_{\theta}$  = daya radiasi pada komponen  $\theta$

$(P_{rad})_{\varphi}$  = daya radiasi pada komponen  $\varphi$

*Directivity* merupakan besaran tanpa satuan, karena merupakan rasio antara dua besaran yang sejenis. Akan tetapi *directivity* biasanya juga dinyatakan dalam bentuk desibel yang mana nilainya:

$$D \text{ (dB)} = 10 \log D \quad (2.12)$$

Kemudian, *Directivity* juga memiliki hubungan dengan besarnya beamwidth. Untuk antena yang memiliki pola radiasi *directional*, nilai *directivity* maksimum ( $D_0$ ) yang dapat dicapai adalah sebagai berikut

$$D_0 = \frac{4\pi}{\Omega_A} = \frac{4\pi}{\Theta_1 \Theta_2} \quad (2.13)$$

Dengan  $\Omega_A$  merupakan beam solid angle yang dipengaruhi oleh beamwidth antena ( $\Theta_1$  dan  $\Theta_2$ ). Dari persamaan tersebut, terlihat bahwa semakin kecil beamwidth suatu antena, *directivity* yang dihasilkan cenderung semakin besar. Secara tidak langsung ini mengartikan bahwa radiasi yang dihasilkan pada arah tersebut jauh lebih kuat dibanding radiasi pada arah yang lain.

#### 2.1.4 Gain

*Gain* adalah rasio antara rapat daya per satuan unit antena terhadap rapat daya antena referensi dalam arah dan daya masukan yang sama.

Karena gain sangat berkaitan dengan arah, maka gain juga berkorelasi dengan directivity.

Gain suatu antenna berlainan dengan gain kutub empat. Gain pada antenna memperhatikan daya masukan ke terminal antenna. Pendefinisian gain secara teoritis sebagai  $4\pi$  kali rasio dari intensitas pada suatu arah dengan daya yang diterima antenna. Jelasnya dinyatakan sesuai persamaan berikut

$$G_{(\theta,\varphi)} = 4\pi \frac{U_{(\theta,\varphi)}}{P_m} \quad (2.14)$$

Dimana,

$G_{(\theta,\varphi)}$  = Gain dalam arah tertentu

$U_{(\theta,\varphi)}$  = Daya yang diradiasikan per satuan sudut

$P_m$  = Daya terima dari antenna

Persamaan diatas digunakan untuk perhitungan gain secara teoritis. Dalam prakteknya, untuk mencari gain bisa menggunakan cara perbandingan level daya terima dengan menggunakan antenna referensi sebagai pembanding.

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} G_s \quad (2.15)$$

Atau menggunakan perhitungan dalam dB disajikan sebagai berikut

$$G_t (dB) = P_t (dB) + G_s (dB) - P_s (dB) \quad (2.16)$$

### 2.1.5 Polarisasi

Polarisasi dari sebuah antenna ialah pendefinisian dari arah medan listrik berubah terhadap waktu yang diradiasiakan oleh sebuah antenna. Penentuan pada polarisasi gelombang berbeda-beda. Namun jika tidak diketahui dari arah pengamatan maka ditentukan dari arah polarisasi yang memiliki gain maksimal.



a. Polarisasi Linier

Polarisasi linier adalah polarisasi gelombang elektromagnetik yang berubah terhadap waktu dimana jejak vektor medannya membentuk garis lurus seperti yang ada pada gambar 2.5. Karakteristik dari polarisasi ini memiliki hanya satu komponen polarisasi dan dua komponen dikatakan orthogonal ketika mempunyai kelipatan fasa  $180^0$

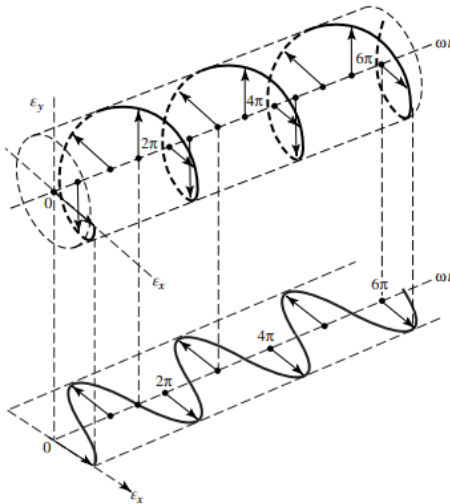
b. Polarisasi Circular

Polarisasi circular adalah polarisasi gelombang elektromagnetik yang berubah terhadap waktu dimana jejak vektor medannya membentuk circular. Karakteristiknya adalah medan harus mempunyai 2 komponen polarisasi linier saling orthogonal, mempunyai magnitudo yang sama, dan mempunyai perbedaan fasa dengan kelipatan  $90^0$

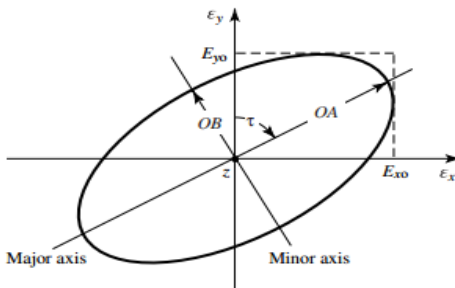
c. Polarisasi Eliptical

Polarisasi elliptical adalah polarisasi gelombang elektromagnetik yang berubah terhadap waktu dimana jejak vektor medannya membentuk pola elliptical seperti pada gambar 2.6. Seperti halnya polarisasi circular, polarisasi elliptical mempunyai dua variasi, variasi berputar searah jarum jam dan variasi berputar berlawanan arah jarum jam. Namun penentuan dari arah polarisasi pada jenis ini menggunakan perbandingan axial ratio mayor ke minor.

Karakteristik lainnya yang membedakan adalah jika kedua komponen tidak memiliki komponen magnitudo yang sama maka komponen fasa harus selain  $0^0$  dan bukan kelipatan  $180^0$ . Sedangkan jika mempunyai magnitudo yang sama maka komponen fasa harus bukan kelipatan genap dari  $90^0$



Gambar 2. 5 Polarisasi Linier [1]



Gambar 2. 6 Polarisasi Elliptical [1]

### 2.1.6 Return Loss

*Return loss* merupakan nilai koefisien pantul dari suatu *port* yang menyatakan rasio besar gelombang yang kembali (terpantul) dari port tersebut dibandingkan dengan total nilai gelombang yang datang. Return loss disimbolkan sebagai  $\Gamma$ . Secara matematis persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\Gamma_i = S_{ii} = \frac{V_i^-}{V_i^+} = \sqrt{\frac{P_i^-}{P_i^+}} \quad (2.17)$$

$$\Gamma_{dB} = 20 \log_{10} \Gamma \quad (2.18)$$

Dengan  $P_i^-$  adalah daya yang dipantulkan dari port I dan  $P_i^+$  adalah daya yang menuju port i.

Penerapan *return loss* pada antenna ialah ketika return loss semakin kecil berarti semakin banyak gelombang yang diteruskan melewati sebuah port. Sehingga korelasinya adalah antenna akan memancarkan banyak energi sehingga lebih efisien. Nilai yang dianggap ideal untuk antenna adalah memiliki return loss sebesar 10 dB

Kondisi *return loss* terbaik pada antenna terjadi ketika kondisi match. Kondisi match terjadi jika impedansi saluran dengan beban mengakibatkan tidak adanya gelombang yang dipantulkan kembali atau memiliki nilai  $\Gamma = 0$ .

Sebaliknya kondisi return loss yang tidak diharapkan ketika nilai impedansi saluran dengan beban tidak match. Hal ini mengakibatkan gelombang yang datang akan dipantulkan kembali lagi atau  $\Gamma = 1$ . Persamaannya adalah

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_s}{Z_L + Z_s} \quad (2.19)$$

Penerapan pengukuran return loss pada antenna array diukur dari masing-masing sehingga terdapat 'n' buah return loss untuk array berjumlah 'n' elemen ( $S_{11}$ ,  $S_{22}$ , dan seterusnya). Dalam kasus ini, return loss menyatakan besarnya tegangan yang dipantulkan dari port i. Prinsip pengukurannya menggunakan kaidah superposisi, ketika port i diberikan sebuah pencatutan, sementara port lain dinonaktifkan. Nilai return loss bervariasi sebagai fungsi dari frekuensi.

### 2.1.7 VSWR

Sesuai dengan namanya VSWR adalah perbandingan dari amplitudo dari tegangan gelombang berdiri, yaitu perbandingan amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum ( $|V_{MAX}|$ ) dan amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum ( $|V_{MIN}|$ ). Besarnya nilai VSWR bisa didapatkan dari persamaan:

$$VSWR = \frac{|V_{MAX}|}{|V_{MIN}|} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2. 20)$$

Dimana :

VSWR = Voltage Standing Wave Ratio

$\Gamma$  = Koefisien refleksi tegangan

$V_{max}$  = Amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum

$V_{min}$  = Amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum

VSWR memiliki rentang nilai dari 1 hingga tak hingga. VSWR juga menjadi salah satu parameter yang menentukan frekuensi kerja dari antenna. Semakin besar nilai VSWR maka kinerja antenna semakin tidak optimal. Kondisi paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang mengindikasikan impedansi antenna matching dengan saluran transmisi sehingga hanya sedikit gelombang yang terpantulkan dari antenna. Batas nilai maksimum VSWR untuk antenna adalah 2, sehingga antenna memiliki kinerja baik jika memiliki VSWR dibawah sama dengan 2 pada frekuensi kerja antenna tersebut.

### 2.1.8 Bandwidth

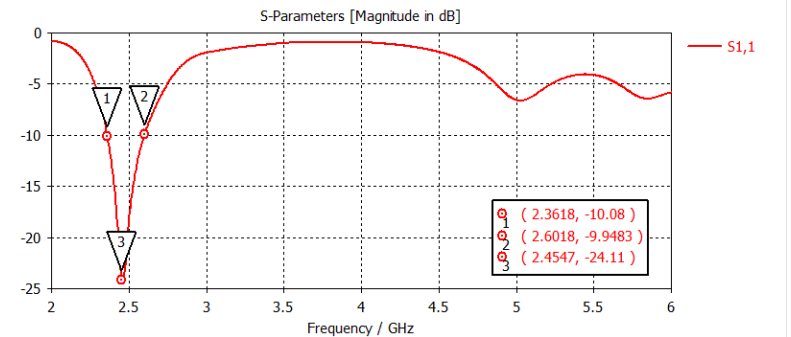
Defini *bandwidth* dari sebuah antenna adalah rentang jangkauan frekuensi yang terdapat pada antenna menelisik karakteristik performansi VSWR dan *Return Loss* antenna .

Dalam sebuah standar tertentu semisal antenna *narrowband*, bandwidth diukur dari frekuensi dengan batas bawah dan atas yang diperbolehkan sebesar 5%.

Aturan tersebut tidak bisa digunakan untuk mengeneralisasi semua antenna. Ini dikarenakan setiap jenis antenna mempunyai karakteristik yang berbeda-beda.

Bandwidth dari sebuah antenna adalah jika antenna bekerja pada frekuensi  $f_c$  namun masih dapat bekerja dengan baik pada frekuensi rentang bawah  $f_c$  ( $f_1$ ) sampai dengan frekuensi diatas rentang atas  $f_c$  ( $f_2$ ).

Lebar bandwidth sebuah antenna dapat ditentukan berdasarkan grafik return loss ( $s_{11}$ ) antenna tersebut seperti ditunjukkan dalam gambar dibawah ini. Besarnya return loss yang memenuhi untuk menjadi acuan bandwidth sebesar -10 dB.

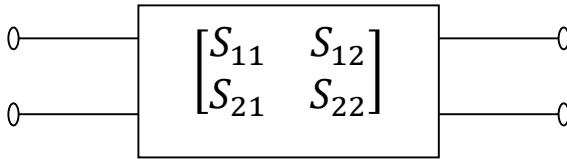


Gambar 2.3 Kriteria Bandwidth pada *S-Parameters* (Koleksi Pribadi)

## 2.2 *S-Parameter*

Dalam pengukuran secara teknis, penggunaan *S-Parameter* pada rangkaian *mikrowave* lebih efisien daripada menggunakan teorema *open circuit* dan *close circuit*. Dikarenakan pada frekuensi tinggi karakteristik rangkaian akan berbeda dengan rangkaian frekuensi rendah.

Ringkasnya, *S-Parameter* adalah perbandingan hubungan antara input output pada sebuah jaringan kaitannya dengan daya yang diteruskan dan dipantulkan



Gambar 2. 7 Two Port Networks (Koleksi Pribadi)

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} = \frac{\text{Daya yang dipantulkan pada port 1}}{\text{Daya yang diteruskan pada port 1}} \quad (2. 21)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} = \frac{\text{Daya yang dipancarkan pada port 2}}{\text{Daya yang diteruskan pada port 1}} \quad (2. 22)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} = \frac{\text{Daya yang dipancarkan pada port 1}}{\text{Daya yang diteruskan pada port 2}} \quad (2. 23)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} = \frac{\text{Daya yang dipantulkan pada port 2}}{\text{Daya yang diteruskan pada port 2}} \quad (2. 24)$$

Dimana :

$S_{11}$  = Daya yang dipantulkan dari terminal 1

$S_{21}$  = Daya yang ditransmisikan dari terminal 1 ke terminal 2

$S_{22}$  = Daya yang dipantulkan dari terminal 2

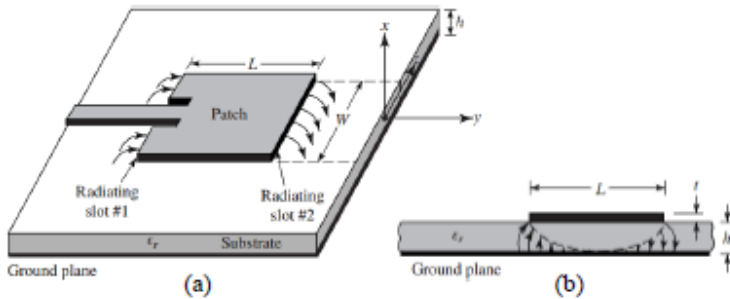
$S_{12}$  = Daya yang ditransmisikan dari terminal 2 ke terminal 1

### 2.3 Antena *Microstrip*

Sejarah antena *Microstrip* berawal dari kebutuhan aplikasi antena pada bidang penerbangan, satelit, ataupun aplikasi rudal. Dimana ke semua bidang harus memiliki performansi yang optimum dan efisien seperti ukuran, berat, biaya, installasi yang mudah, dan bentuk yang memiliki aerodinamis baik [1].

*Microstrip* antena merupakan antena yang tersusun dari dua logam (*patch*) memiliki ketebalan yang sangat tipis ( $t \ll \lambda_0$ , dimana  $\lambda_0$  adalah panjang gelombang di ruang hampa) dengan sebuah *substrate*

(dielektrik) yang diantara keduanya yang memiliki ketinggian ( $h$ ), dimana  $h \ll \lambda_0$ , biasanya  $0.003\lambda_0 \leq h \leq 0.05\lambda_0$ . Rentang nilai epsilon dielektrik pada antenna *Microstrip* sekitar  $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ .



Gambar 2. 8 Antena Patch *Microstrip* [1]

Penelitian tentang antenna *Microstrip* banyak dilakukan karena jenis antenna ini memiliki karakteristik yang menarik antara lain low profile (berukuran kecil dan kompak), memiliki massa yang ringan, mudah dipasang pada berbagai macam struktur baik planar maupun non planar, biaya produksi lebih rendah, mudah difabrikasi, memiliki struktur yang kokoh apabila dipasang pada permukaan yang kuat, mudah diintegrasikan dengan dengan rangkaian microwave lain, juga lebih fleksibel untuk dimodifikasi agar menghasilkan performa dan karakteristik radiasi tertentu.

Namun dibalik kelebihan-kelebihan yang ada antenna *Microstrip* juga mempunyai kelemahan-kelemahan, antara lain efisiensi yang rendah, daya radiasi rendah, bandwidth frekuensi kecil, dan dikhawatirkan munculnya radiasi bocoran (spurious). Dengan kelebihan-kelebihan yang sangat menjanjikan tersebut, penelitian tentang pengurangan kelemahan antenna *Microstrip* masih terus dilakukan.

Secara umum *Microstrip* antenna biasa disebut patch antenna. Seperti yang dijelaskan di awal paragraf, antenna ini terdiri dari *patch*, *substrate*, dan *ground*. Komponen yang memancarkan gelombang dari

antena tersebut adalah patch. Patch dalam microstrip bisa dibentuk aneka ragam, semisal persegi, persegi panjang, dipole, lingkaran, ataupun bentuk-bentuk lainnya. Biasanya secara umum peneliti lebih sering menggunakan bentuk persegi karena analisa karakteristik radiasinya lebih mudah. Pada umumnya antenna *Microstrip* di desain agar menghasilkan pola radiasi maksimum pada arah normal terhadap patch.

Sedangkan nilai dari *substrate* biasanya memiliki rentang nilai epsilon dielektrik sekitar  $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$ . Untuk performa antenna yang diinginkan biasanya menggunakan *substrate* yang tebal dan memiliki nilai dielektrik yang kecil karena hal ini dapat menambah lebar bandwidth dari antenna, serta mengurangi gelombang terbimbing yang keluar. Dikarenakan jika gelombang terbimbing banyak yang keluar mengakibatkan efisiensi antenna berkurang.

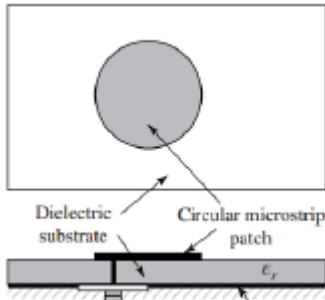
### **2.3.1 Metode Feeding**

Metode *feeding* menentukan bagaimana pencatutan pada antenna diberikan. Ada banyak metode untuk melakukan *feeding* pada sebuah antenna. Empat *feeding* yang paling populer (**The Big Four**) adalah *Microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling*. Semua jenis dari pencatutan tersebut bisa dikelompokkan dalam dua jenis, *contacting* dan *non contacting*. Jenis *contacting* dimana sebuah *feeding* bersentuhan secara fisik dengan *patch* yang meradiasi, sementara pada jenis *non contacting feeding*, *feeding* dan *patch* tidak bersentuhan secara fisik. Proses eksitasi dilakukan melalui proses *coupling* antara *feeding* dengan *patch*. Penjelasan lebih lanjut mengenai *The Big Four feeding* sebagaimana berikut

#### **2.3.1.1 Coaxial Probe Feeding**

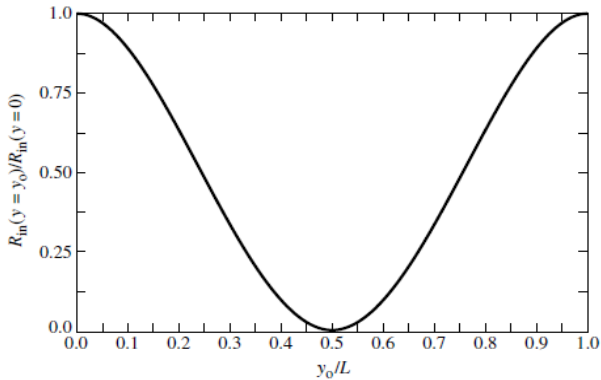
Metode ini melakukan *feeding* dengan menghubungkan patch dengan bagian inti dari kabel koaksial dengan cara menyambungkan ini kabel tersebut menembus lapisan *substrate* dari sisi belakang (*Ground Plane*). Sementara itu bagian luar coaxial dihubungkan dengan *Ground Plane*. Visualisasi bisa dilihat di gambar 2.9. Posisi peletakan *feeding* relative terhadap patch akan mempengaruhi nilai impedansi input ke antenna, sehingga perlu dilakukan sebuah metode matching untuk menyamakan impedansi input dan output.





Gambar 2. 9 Coaxial Probe Feeding [1]

Umumnya impedansi input dari suatu patch akan bernilai tinggi ketika *feeding* berada pada bagian tepi patch, kemudian nilainya akan menurun apabila *feeding* digeser menuju titik pusat patch [1]. Seperti pada gambar 2.10



Gambar 2. 10 Normalized Input Resistance [1]

Keunggulan metode *coaxial probe* adalah proses *matching impedansi* yang mudah dan menghasilkan radiasi spurious yang rendah. Namun metode ini memiliki kelemahan yang itu antenna akan memiliki bandwidth yang sempit [1].

### 2.3.1.2 Microstrip Line Feeding

*Microstrip* line merupakan sebuah jalur pada patch yang berperan sebagai pengarah gelombang terbimbing kepada radiating patch. Metode ini merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan karena proses desain dan fabrikasinya mudah dilakukan.

Oleh karena berupa saluran transmisi, *Microstrip* line memiliki nilai impedansi karakteristik ( $Z_c$ ) yang dipengaruhi oleh lebar penampangnya sendiri ( $w$ ), tebal substrat ( $h$ ), konstanta dielektrik *substrate* ( $\epsilon_r$ ), dan ketebalan lapisan logam *Microstrip* ( $t$ ).

Seperti halnya pada *coaxial probe*, ketika *microstrip line* bersambungan dengan bagian tepi *patch*, impedansi input yang dihasilkan pada antena akan bernilai maksimum, yaitu sebesar 150 – 300 ohm. Normalisasi tersebut bisa dilihat pada gambar 2.10 . Hal ini terjadi karena pada bagian tepi *patch*, tegangan bernilai maksimum sedangkan distribusi arus bernilai minimum [1]. Untuk mencapai kondisi match dengan impedansi saluran 50 ohm, maka sambungan antara *Microstrip* line dan patch harus digeser ke dalam menggunakan sebuah inser seperti gambar diatas, Namun penambahan inset akan menimbulkan efek kapasitansi yang mengakibatkan terjadinya sedikit pergeseran pada frekuensi resonansi antena. Metode lain yang dapat digunakan untuk melakukan matching impedansi adalah dengan menggunakan transformer impedansi  $\lambda/4$  yang berfungsi untuk mentransformasikan impedansi input pada patch yang bernilai tinggi agar menjadi match dengan saluran transmisi (*Microstrip* line) 50 ohm, seperti pada gambar . Levar transformer  $\lambda/4$  harus diatur sedemikian hingga agar menghasilkan impedansi karakteristik transformer ( $Z_1$ ) yang memenuhi persamaan

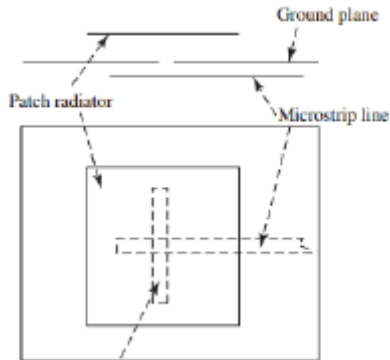
$$Z_1 = \sqrt{Z_c R_{in}} \quad (2. 25)$$

Dimana  $R_{in}$  merupakan resistansi input pada titik dimana transformer bersinggungan dengan patch.

### 2.3.1.3 Aperture Coupling

Aperture Coupling feed terdiri dari dua lapis *substrate* berbeda yang dipisahkan oleh *GroundPlane*. Patch yang meradiasi terletak di sisi

luar dari lapisan *substrate* atas sedangkan *Microstrip* line berada di sisi luar dari lapisan *substrate* bawah. *GroundPlane* terletak pada di antara

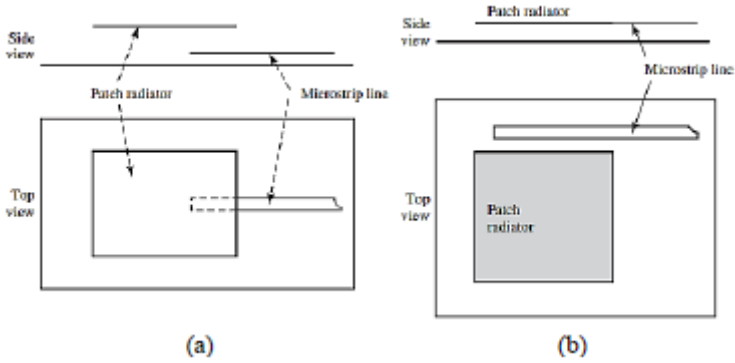


Gambar 2. 11 Aperture Coupling [3]

kedua lapisan *substrate* tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.11 .umumnya, *substrate* yang memuat *Microstrip* line memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, sementara *substrate* yang memuat radiating patch berukuran lebih tebal dan memiliki konstanta dielektrik lebih rendah. Pencatutan terjadi melalui proses coupling dari *Microstrip* line ke radiating patch melalui slot yang terdapat pada *GroundPlane*. Disini slot bertindak sebagai resonator sekaligus radiator. Untuk melakukan optimasi, karakteristik *substrate*, panjang *Microstrip* line, serta pajang dan posisi slot dapat disesuaikan hingga mencapai kriteria yang diinginkan. Lebar *Microstrip* line dan panjang slot juga berpengaruh pada impedansi yang dihasilkan. Metode *feeding* ini dapat mengurangi radiasi spurious yang dihasilkan oleh *feeding* dan menurunkan nilai radiasi croos-polarization.

#### 2.3.1.4 Proximity Coupling

Proximity coupling memberikan pencatutan menggunakan sebuah *Microstrip* line yang diletakkan di belakan patch dan dipisahkan oleh lapisan *substrate* kedua. Sebagaimana ditunjukkan gambar 2.12. Untuk melakukan matching impedansi dapat dilakukan dengan mengubah panjang *Microstrip* line dan rasio antara lebar *Microstrip* line terhadap lebar patch.



Gambar 2. 12 Proximity Coupling [3]

Metode ini dapat menghasilkan bandwidth yang lebih lebar hingga 13% dan radiasi spurios yang rendah. Namun metode ini memerlukan proses fabrikasi yang lebih rumit. Selain diletakkan dibelakang patch, *Microstrip* line juga dapat diletakkan di samping patch dalam satu lapisan *substrate* yang sama. Dengan demikian pencatutan terjadi melalui efek coupling dari medan yang dihasilkan oleh proses fringing pada *Microstrip* line.

## 2.4 Array Linier N elemen

Array Linier merupakan salah satu metode untuk penyusunan antenna dengan cara memposisikan setiap elemen dari sebuah antenna secara berjajar lurus sepanjang salah satu sumbu koordinat kartesian.

Pada kasus array linier dengan elemen sejumlah  $N$ , amplitude pencatutan  $a_n$ , beda fase pencatutan antar elemen  $\beta$ , dan jarak antar masing-masing elemen sebesar  $d$ , maka karakteristik array factor yang dihasilkan ditunjukkan oleh persamaan berikut [1]

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)\psi} \quad (2.26)$$

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \quad (2.27)$$

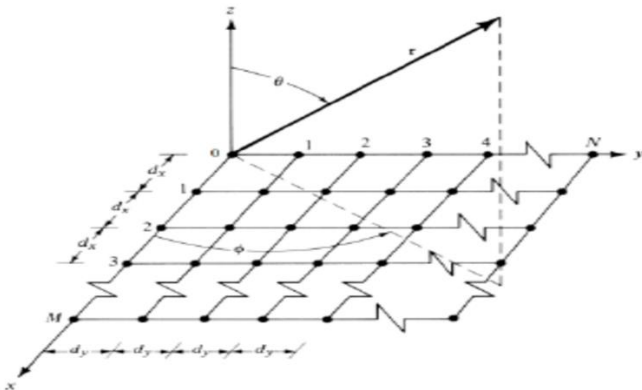
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.28)$$

Dimana  $\theta$  adalah sudut pengamatan dilihat dari titik pusat dan  $k$  merupakan konstanta fase gelombang yang dipengaruhi oleh panjang gelombang di ruang bebas ( $\lambda$ ).

Dengan melihat persamaan 2.26 dan 2.27, sehingga dapat dikonotasikan jika kita menginginkan suatu pola radiasi array dengan karakteristik tertentu, kita dapat melakukan pengaturan pola radiasi dari masing-masing elemen tunggal bersamaan dengan mengatur pencatutan pada masing-masing elemen. Jika suatu array terdiri dari elemen-elemen yang identik serta dicatu dengan amplitude yang sama dan fase progresif (beda fase antar elemen sama), maka disebut sebagai uniform array. Uniform array memiliki bentuk array faktor yang lebih sederhana dibandingkan non uniform array.

## 2.5 Array Planar N elemen

Array planar adalah rangkaian dari beberapa elemen antenna yang tersusun pada kolom dan baris berbentuk persegi (matriks) dalam bidang datar. Misalkan suatu antenna array planar berdimensi  $M \times N$  elemen terletak pada bidang kartesian X-Y, bisa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 13 Array N Planar [3]

Elemen-elemen dari arah array tersusun secara teratur dan berderet pada arah x dan arah y. Jarak antara elemen yang berdekatan pada arah sejajar sumbu X dan sumbu Y berturut-turut dinyatakan dengan dx dan dy. Arah  $\theta$  diukur dari sumbu z dengan arah pengamatan, dimana r merupakan jarak pada medan jauh (farfields) yang ada pada pers 2.3. Sedangkan arah  $\varphi$  diukur dari sumbu x positif dengan garis yang dibentuk dari proyeksi pengamatan bidang X-Y. Selanjutnya  $\theta$  disebut dengan sudut elevasi dan  $\vartheta$  disebut dengan sudut azimuth.

Pada susunan geometri dari antenna array planar dengan semua elemen merupakan sumber isotropis seperti gambar diatas, faktor amplitudo  $I(m,0)$  merupakan amplitudo pencatutan referensi pada kolom dan faktor amplitudo  $I(0,n)$  merupakan amplitudo pencatutan pada referensi pada baris. Sebagai referensi dari amplitudo keseluruhan adalah elemen pusat yang dinyatakan dengan  $I(0,0)$ . Amplitudo arus eksitasi baris ke-m kolom ke-n dinyatakan dengan:

$$I(m,n) = \frac{I(m,0)I(0,n)}{[I(0,0)]^2} \quad (2.29)$$

Bila titik pusat O (0,0) sebagai referensi fasa, maka faktor array dari penjumlahan arah x pada y = 0 dan faktor array dari penjumlahan arah y pada x = 0 berturut-turut merupakan susunan antenna array linier pada sumbu x dan sumbu y yang masing-masing dinyatakan dengan:

$$E_x(\theta, \varphi) = \sum_{m=0}^{M-1} \frac{I(m,0)}{I(0,0)} \exp \left[ j \frac{2\pi n dx}{\lambda} (\sin \theta \cos \varphi - \sin \theta_0 \cos \varphi_0) \right] \quad (2.30)$$

$$E_y(\theta, \varphi) = \sum_{m=0}^{M-1} \frac{I(m,0)}{I(0,0)} \exp \left[ j \frac{2\pi n dx}{\lambda} (\sin \theta \cos \varphi - \sin \theta_0 \cos \varphi_0) \right] \quad (2.31)$$

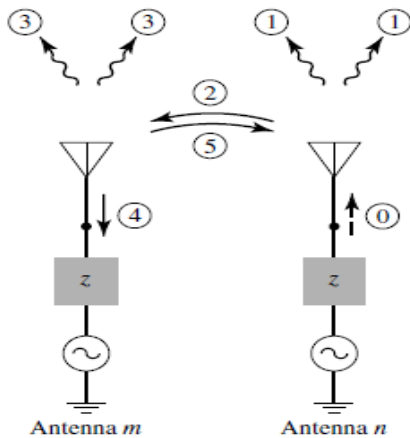
## 2.6 Mutual Coupling

Antena *Microstrip* memiliki kelebihan-kelebihan yang sudah dijelaskan diatas, namun masih memiliki kekurangan. Salah satunya adalah *directivity*. *Directivity* antena *Microstrip* sangat lebar, cenderung mengarah ke *broadband*. Sehingga untuk kebutuhan aplikasi yang membutuhkan *directivity* sempit seperti radar, maka digunakanlah teknik *array*.

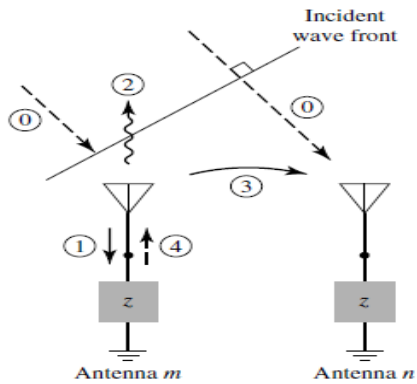
Teknik *array* adalah menjajarkan beberapa antena yang identik maupun tidak identik dengan jarak tertentu. Teknik *array* dapat membuat *beamwidth* antena total menjadi lebih sempit sehingga *directivity* semakin terarah.

Ada permasalahan krusial ketika beberapa antena kita jajarkan menjadi satu penampang antena, yaitu *mutual coupling*. *Mutual Coupling* terjadi ketika dua sumber radiasi atau penerima energi saling berdekatan, dalam kasus ini adalah antena, maka energi dari salah satu antena akan mempengaruhi antena sebelahnya. Dengan kata lain terjadi *interchange energy* [1]. Ketika *mutual coupling* terjadi pada antena, maka akan mengubah karakteristik dari antena seperti *impedance*. Sehingga akan membuat antena tersebut tidak menjadi *matching* dengan *transmission lines*. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat *mutual coupling* tersebut,

- a. Karakteristik radiasi masing-masing antena
- b. Jarak antar antena
- c. Feed dari tiap antena
- d. Volume dalam satu array



Gambar 2. 14 Skema Mutual Coupling pada Antena Pengirim [1]



Gambar 2. 15 Skema Mutual Coupling pada Antena Penerima [1]

Efek yang ditimbulkan oleh mutual coupling bisa diminimalisir dengan berbagai cara berikut, [4]

a. *Structure GroundGap*



*Structure GroundGap* terletak diantara kedua antenna. Struktur ini bisa dibuat *single* atau *double*. Pengaruh kerja dari teknik ini pada letak posisi struktur, jumlah struktur, dan panjang dari struktur.

b. *Resonant Network Structure*

Metode ini menambahkan jaringan filter selektif frekuensi untuk mengurangi energi propagasi dari kedua antenna.

c. *Current Neutral Structure*

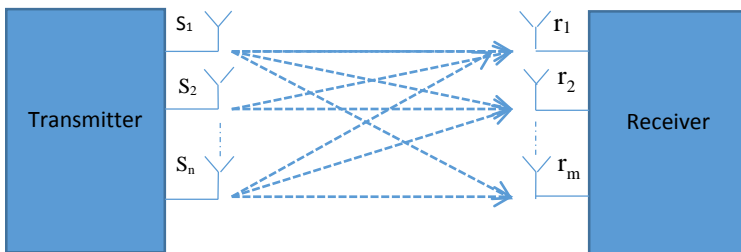
Teknik ini merupakan cara yang paling mudah. Caranya dengan memasang kabel tepat pada lokasi diantara kedua antenna tersebut.

d. *Network Structure*

Metode ini memiliki karakteristik bahwa desain antenna dan struktur decoupling dapat dirancang secara terpisah. Kemudian dikombinasikan diantara kedua antenna.

## 2.7 Sistem MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)

Sistem Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) merupakan sistem yang terdiri dari beberapa antenna pengirim dan beberapa antenna penerima. Sistem MIMO dapat meningkatkan data rate yang lebih besar tanpa membutuhkan penambahan bandwidth sehingga dapat meningkatkan efisiensi bandwidth



Gambar 2. 16 Skema MIMO

Dari gambar 2.16 ditunjukkan sistem MIMO secara umum. Sinyal yang dikirim oleh transmitter dikalikan dengan suatu matriks kanal  $H$  yang berukuran  $NN$  dan kemudian diterima oleh semua antenna penerima. Semua antenna pengirim mengirim ke semua penerima dan

begitu pula semua antenna penerima menerima semua sinyal yang dikirim dari antenna pengirim. Sinyal yang diterima dirumuskan seperti berikut:

$$y_1 = h_{11} s_1 + h_{12} s_2 + \dots + h_{1N} s_N \quad (2.32)$$

$$y_2 = h_{21} s_1 + h_{22} s_2 + \dots + h_{2N} s_N \quad (2.33)$$

.

$$y_N = h_{N1} s_1 + h_{N2} s_2 + \dots + h_{NN} s_N \quad (2.34)$$

Dimana

$y_N$ : sinyal yang diterima

$h_{NN}$  : matriks kanal H berukuran NN

$s_N$ : sinyal yang dipancarkan

## 2.8 Massive MIMO

Massive MIMO adalah pengembangan tingkat lanjut dari antenna MIMO. Sebelum melangkah lebih jauh mengenai pengembangan seluler, dalam tujuh osilayer antenna terletak pada bagian pertama yaitu physical layer. Di layer ini, ada suatu permasalahan utama yaitu terbatasnya ketersediaan spectrum frekuensi. Dalam langkah selanjutnya, ada beberapa cara untuk mengatasi keterbatasan sehingga dapat membuat efisien penggunaan kanal: (i) menambah lebih banyak access point, (ii) Menggunakan lebih banyak spectrum frekuensi, dan (iii) menggunakan frekuensi dengan efisien.

Mengambil latar belakang pada paragraf sebelumnya, penelitian antenna Massive MIMO merupakan salah satu jalan untuk mencapai tujuan tersebut. Massive MIMO pada dasarnya adalah multiuser MIMO yang diperbanyak. Dasar teori Massive MIMO adalah Teori Shanon tentang efisiensi spectrum.

$$C^{ul} = \log_2 \left| I_M + \frac{\rho^{ul}}{K} G G^H \right| \quad (2.35)$$

$$C^{dl} = \log_2 \left| I_K + \frac{\rho^{dl}}{M} G^H G \right| \quad (2.36)$$

Dalam persamaan diatas  $G$  mempresentasikan respon frekuensi dari matriks  $M \times K$  diantara antenna array base station dan terminal. Sedangkan  $\rho^{ul}$  dan  $\rho^{dl}$  adalah nilai Signal to Noise ratios (SNR) yang mana mempunyai respon yang proportional dengan total daya yang dipancarkan.  $M$  adalah jumlah antenna base station sedangkan  $K$  adalah jumlah antenna pada user.

Dalam teori tersebut ketika  $M$  (jumlah antenna base) meningkat lebih banyak maka akan menghasilkan *throughput* secara logaritmik sementara itu hal ini mengakibatkan jumlah waktu dibutuhkan pada pengiriman.

Selanjutnya, Antena Massive MIMO memiliki beberapa perbedaan dengan antenna Multiuser MIMO. Yang pertama adalah pada bagian antenna Base Station ( $G$ ). Kedua,  $M$  pada antenna ini diharuskan memiliki jumlah yang banyak daripada  $K$  (user). Ketiga adalah proses signal processing yang sederhana baik untuk uplink maupun downlink.

Pada gambar diatas menjelaskan tentang skema rancangan antenna massive MIMO pada base station. Tiap base station dipasang antenna dalam jumlah banyak ( $M$ ), untuk melayani sebanyak jumlah terminal user ( $K$ ). Tipikal dari terminal tersebut mempunyai sebuah antenna single untuk tiap user-nya. Antar base station melayani user yang berbeda pula dengan kemungkinan untuk membatasi power control dan pilot assignment.

Antara keduanya, baik transmisi Uplink maupun Downlink, secara bersama semua terminal menggunakan Full time-Frequency resources. Pada uplink, base station diharuskan mencakup sinyal yang dikirimkan oleh user. Sedangkan pada downlink, base station diharuskan mampu mengirimkan sinyal yang diminta oleh user. Sehingga segala permasalahan

tersebut, base station dapat dengan mudah melaksanakan tugasnya dengan algoritma CSI (Channel State Information).

Penggunaan antenna dengan skala yang besar pada base station bukan hanya untuk mendapatkan spectral efficiencies yang tinggi saja, namun yang lebih pentingnya adalah untuk menyediakan availability kanal yang merata untuk semua user.

## **2.9 Metode Pengukuran Antena**

Pada pengukuran antena terdapat dua macam pengukuran. Pengukuran pertama untuk mengukur *S-Parameter* sedangkan pengukuran yang kedua untuk pengukuran farfield antena. Pada pengukuran parameter antena dilakukan pengukuran menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) untuk mengetahui nilai return loss, VSWR, dan bandwidth dari antena. Sedangkan pada pengukuran farfield antena, pengukuran menggunakan signal generator, spectrum analyzer, dan antena horn referensi untuk mengukur beamwidth dan pola radiasi antena. Pengukuran dilakukan terhadap tiga macam antena yang difabrikasi sebagai berikut antena *Microstrip* single element patch dual polarized, antena *Microstrip* linear array patch dual polarized

### **2.9.1 Pengukuran Scattering Parameter, VSWR, dan Impedansi Input Antena**

Pengukuran scattering parameter dan VSWR dilakukan dengan menghubungkan antena yang akan diukur ke port yang tersambung dengan VNA. Untuk ketiga parameter, VNA dapat menampilkan data pengukuran secara langsung dalam bentuk grafik. Pada pengukuran antena elemen tunggal, antena dihubungkan ke port 1 VNA menggunakan konektor N-male to SMA-male tanpa menggunakan kabel penghubung. Sementara itu, untuk pengukuran pada antena array, konektor N-male to SMA-male digantikan oleh kabel coaxial sebagai penghubung dari VNA ke antena. Hal ini dilakukan karena terdapat perbedaan posisi antara port pada VNA dengan konektor dari antena, sehingga tidak memungkinkan untuk dihubungkan secara langsung.

Pada pengukuran antena array, masing-masing port pada antena dihubungkan secara langsung dengan kedua port pada VNA sehingga terbentuk konfigurasi two-port network. Namun, jika port antena

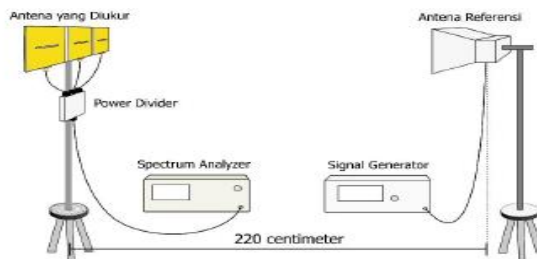
melebihi kapasitas dari VNA maka port yang tidak terhubung dengan VNA ditutup dengan dummy load. Dummy load merupakan komponen yang berfungsi untuk melakukan matching pada suatu port. Sehingga meskipun port pada antenna tidak dihubungkan dengan saluran transmisi aktif, melainkan dihubungkan dengan dummy load sedemikian hingga membuat kondisinya tetap match dengan impedansi dummy load dan tidak mengalami open circuit.

Untuk melakukan pengukuran return loss pada masing-masing dari sebuah elemen antenna array  $M \times N$ . Elemen tunggal antenna yang akan diukur dihubungkan dengan port 1 pada VNA, sementara dua elemen yang lain ditutup dengan dummy load. Misalnya untuk mengukur nilai  $S_{11}$  (return loss pada elemen pertama) dari antenna  $1 \times 3$ , VSWRnya, dan impedansi inputnya. Maka pada port elemen pertama dihubungkan dengan VNA sedangkan port lainnya dihubungkan dengan dummy load.

Selanjutnya untuk pengukuran mutual coupling antara dua elemen pada array  $1 \times 3$  dilakukan dengan menghubungkan kedua elemen yang akan diuji ke port 1 dan port 2 VNA, sedangkan elemen yang lain dihubungkan dengan dummy load.

### 2.9.2 Pengukuran Pola Radiasi Antena

Sebelum dilakukan pengukuran antenna, langkah pertama dilakukan kalibrasi antara signal generator dengan spectrum analyzer untuk memastikan jika kedua alat tersebut dan kabel yang digunakan dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Setelah proses kalibrasi selesai, dilanjutkan dengan penyusunan konfigurasi untuk antenna, alat ukur, dan komponen pengukuran lainnya seperti pada gambar 4.1



Gambar 2. 17 Skema Pengukuran

Antena referensi difungsikan sebagai pemancar dan dihubungkan dengan sebuah signal generator. Sedangkan antena yang diukur difungsikan sebagai penerima dan dihubungkan dengan spectrum analyzer.

Antena referensi yang digunakan pada pengukuran ini adalah antena horn dengan dimensi 27.9cm x 14,2 cm (700 MHz sampai 18 GHz). Untuk mengukur pola radiasi , antena yang diukur harus berada pada daerah farfield dari antena referensi, begitu pula sebaliknya. Karena antena referensi memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan antena yang diuji, baik sebagai elemen tunggal ataupun array, maka batas daerah farfield untuk antena referensi memiliki radius yang lebih besar. Sehingga agar kedua antena masuk ke dalam batas daerah farfield dari antena lawan, jarak antara kedua antena harus lebih besar atau sama dengan radius farfield dari antena referensi. Untuk menghitung radius minimal daerah farfield antena referensi, diperlukan nilai D, yaitu dimensi terbesar yang dimiliki oleh antena. Untuk antena yang digunakan dalam penguuran ini, nilai D merupakan panjang diagonal sisi dari antena horn, yaitu

$$D = \sqrt{27,9^2 + 14,2^2} = 31,3 \text{ cm} \quad (2.37)$$

Sehingga radius minimum daerah farfield dari antena adalah :

$$\begin{aligned} R_{ff} &= \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.38) \\ &= \frac{2 \times 31,3^2}{5} = 391,876 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dalam pengukuran ini, antena referensi dan antena yang diukur harusnya terpisah sejauh 391,876 cm, sehingga keduanya berada di daerah farfield antena. Namun dikarenakan batas ruangan anecholic chamber di LIPI tidak melebihi 3 meter maka pengukuran tidak mencapai jarak yang dirumuskan tersebut. Setelah konfigurasi selesai dipersiapkan, selanjutnya dilakukan pengukuran dengan mengamati spectrum daya

sinyal yang diterima oleh antena pada frekuensi kerjanya pada tampilan spectrum analyzer. Agar memperoleh bentuk pola radiasi dari antena maka antena yang diuji diputar dari  $0^0$  hingga  $360^0$  dengan interval perubahan sebesar 20 derajat.

Agar memudahkan pelaksanaan pengukuran pola radiasi antena maka bisa dilihat langkah-langkah untuk melaksanakan pengukuran tersebut seperti dibawah ini

1. Persiapkan alat seperti pengukuran pola radiasi seperti sebuah antena referensi (Horn), Signal Generator, Spectrum Analyzer, penyangga non metal, dan antena yang akan diukur.
2. Pada sesi pertama, persiapkan pengukuran seperti pada subbab pengukuran pola radiasi. Antena referensi dijadikan sebagai pemancar, sedangkan antena yang diuji dijadikan pada penerima.
3. Atur jarak antar antena kira-kira 1 meter. Pastikan kedua antena Line Of Sight.
4. Lakukan pengecekan kabel dan konektornya hingga sesuai. Kemudian hubungkan antena referensi dengan signal generator. Sedangkan pada antena uji pada spectrum analyzer.
5. Catat nilai yang terdapat pada spectrum analyzer sebagai level antena penerima.
6. Kemudian putar antena penerima dengan interval 20 derajat.
7. Catat lagi hasil pembacaan pada spectrum analyzer. Tulis pada kolom sudut yang sesuai
8. Ulangi langkah tersebut hingga sudut 360 derajat.

### **2.9.3 Pengukuran Polarisasi Antena**

Pada antena yang diuji kali memasukkan uji pengukuran polarisasi antena untuk menguji antena tersebut termasuk dalam kriteria dual polarized. Pada pengukuran kali ini menggunakan metode *Co-Polar* dan *Cross-Polar* dalam mengujinya. *Co-Polar* adalah suatu kondisi dimana antena pengirim dan antena penerima memiliki polarisasi yang sama. Sedangkan *Cross-Polar* adalah suatu kondisi dimana antena pengirim dan penerima memiliki polarisasi yang berbeda.

Pengujian pertama adalah pengujian *Co-Polar*. Pada uji kali ini, antena yang akan diuji dijadikan pengirim sedangkan antena penerima

yang sudah kita ketahui polarisasinya dijadikan penerima. Pada uji ini, antena penerima diposisikan horizontal. Kemudian antena tersebut dihubungkan dengan power detector. Selanjutnya ketika uji dimulai antena diputar mulai  $0^0$  hingga  $360^0$  dengan perubahan interval sebesar  $10^0$ .

Pengujian selanjutnya adalah pengujian *Cross-Polar*. Pada uji kali ini, antena yang akan diuji dijadikan pengirim sedangkan antena yang sudah diketahui polarisasinya dijadikan penerima. Pada uji ini, antena penerima diposisikan vertikal. Kemudian antena tersebut digabungkan dengan power detector. Selanjutnya ketika uji dimulai antena diputar mulai  $0^0$  hingga  $360^0$  dengan perubahan interval sebesar  $20^0$ .

#### 2.9.4 Pengukuran Gain

Dalam pengukuran gain mempunyai langkah-langkah yang berbeda daripada pengukuran-pengukuran sebelumnya. Pada pengukuran gain adalah pengukuran yang bersifat indirect. Pengertian ini mempunyai arti bahwa dalam pengukuran ini tidak serta merta hasil pembacaan dari alat ukur adalah hasil dari gain tersebut. Namun, pada pengukuran ini harus ada pengolahan hasil pembacaan alat ukur dengan persamaan berikut

$$\begin{aligned} \text{Gain Dicari} = & \text{Antena}_{0 \text{ derajat}} \\ & - \text{Lvl Antena Referensi} \\ & + \text{Gain Antena Referensi} \end{aligned} \quad (2.19)$$

Skema pengambilan data pada subbab ini adalah dengan menyusun peralatan seperti pada pengukuran pola radiasi. Namun ada yang berbeda pada pengukuran kali ini. Untuk antena referensi dijadikan sebagai penerima sinyal sedangkan antena uji dijadikan sebagai sebuah pemancar sinyal.

Langkah-langkah dalam pengukuran gain

1. Persiapkan alat seperti pengukuran pola radiasi seperti sebuah antena referensi (Horn), Signal Generator, Spectrum Analyzer, penyangga non metal, dan antena yang akan diukur.
2. Pada sesi pertama, persiapkan pengukuran seperti pada subbab pengukuran pola radiasi. Antena referensi dijadikan sebagai



pemancar, sedangkan antenna yang diuji dijadikan pada penerima.

3. Atur jarak antar antenna kira-kira 1 meter. Pastikan kedua antenna Line Of Sight.
4. Lakukan pengecekan kabel dan konektornya hingga sesuai. Kemudian hubungkan antenna referensi dengan signal generator. Sedangkan pada antenna uji pada spectrum analyzer.
5. Catat nilai yang terdapat pada spectrum analyzer sebagai level antenna penerima.
6. Pada sesi kedua, persiapkan pengukuran seperti pada point 1. Pada sesi kali ini antenna referensi dijadikan sebagai penerima sedangkan antenna pemancar menggunakan antenna yang diuji.
7. Atur jarak antar antenna kira-kira 1 meter. Pastikan kedua antenna Line Of Sight.
8. Lakukan pengecekan kabel dan konektornya hingga sesuai. Kemudian hubungkan antenna referensi dengan signal generator. Sedangkan pada antenna uji pada spectrum analyzer.
9. Catat nilai yang terdapat pada spectrum analyzer sebagai level antenna referensi.
10. Untuk melihat Gain antenna horn bisa dilihat pada gambar dibawah ini. Catat sebagai Gain Antena Referensi
11. Nilai gain dapat dicari dengan memasukkan nilai pada point 5, 8, dan 10.

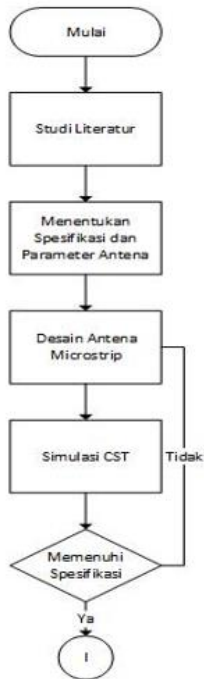
***Halaman ini sengaja dikosongkan***

### BAB 3

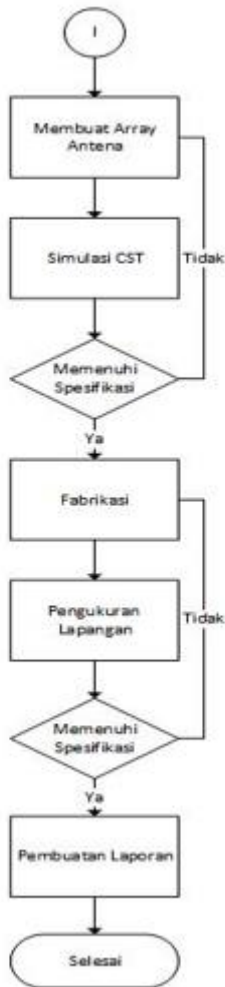
## PERANCANGAN ANTENA

Pada bab 3 ini membahas mengenai proses perancangan antenna *Microstrip* untuk aplikasi 5G BTS (Base Transceiver Stasion) dengan antenna patch persegi dual polarisasi dan stacked patch antenna with dual polarization.

Proses perancangan antenna dilakukan mengikuti kaidah-kaidah yang tercantum dalam flowchart seperti pada gambar 3.1. Langkah-langkah pengerjaan antenna secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi tahapan studi literatur dan tahap perancangan dan simulasi.



Gambar 3. 1 Flowchart Perancangan Antena



Gambar 3. 2 Flowchart Perancangan Antena Lanjutan

### 3.1 Alur Perancangan

Ada beberapa tahapan dalam perancangan antenna *Microstrip* untuk aplikasi antenna pada Base Transceiver Station 5G. Dari pertama adalah

penentuan spesifikasi bahan *substrate*, pemilihan bentuk single element, melakukan array antenna, dan membandingkan hasil simulasi CST. Setelah menentukan perancangan tersebut akan disimulasikan dan difabrikasi. Pada tahap akhir perancangan akan dilakukan pengukuran. Berikut diagram alir perancangan antenna pada gambar 3.1

### **3.2 Kriteria dan spesifikasi Antena *Microstrip***

Dalam merancang desain antenna ini ada tahapan awal yang harus dilakukan setelah studi literatur pada paper. Tahapan awal adalah menentukan spesifikasi yang ingin dicapai pada antenna ini. Spesifikasi awal tersebut adalah memiliki karakteristik parameter antenna yang berada dibawah  $< -10\text{ dB}$  atau memiliki nilai *return loss* yang baik pada frekuensi yang diinginkan.

Selanjutnya adalah menentukan frekuensi kerja desain antenna yang ingin dicapai. Penentuan aturan 5G pada saat ini belum sepenuhnya dilakukan oleh negara-negara berkembang seperti halnya Indonesia. Dilansir dari situs *JawaPos.com*, Indonesia masih sebatas penjajakan teknologi tersebut. Pemerintah sebagai pemangku kebijakan untuk hal ini masih stagnan ditahap tersebut.

Di Indonesia ada beberapa operator yang sudah melakukan uji coba pada frekuensi 3 Ghz seperti yang dilakukan oleh operator XL Axiata. Walaupun dari Telkomsel yang menggunakan frekuensi 28 Ghz untuk teknologi 5G nya pada pesta Asian Games 2018 kemarin.

Merujuk pada makalah "*The Voice for 5G in the Americas*" yang dipublikasikan pada Agustus 2015 di Amerika Serikat. Pada makalah tersebut membahas rekomendasi band frekuensi yang bisa digunakan untuk alokasi kanal 5G ke depannya. Ada beberapa negara yang telah mengajukan aturan terkait frekuensi yang digunakan oleh teknologi ini, seperti Finlandia, Inggris Raya, Japan, Republik Rakyat Tiongkok, Amerika Serikat, dan juga Swedia. Swedia melakukan pengajuan proposal ke CPG (Conference Preparatory Group) berisi penggunaan band frekuensi untuk 5G dibawah 10 Ghz yang salah satunya pada rentang 5,92 GHz – 7,025 GHz.

Perancangan antenna *Microstrip* selanjutnya adalah menentukan bahan pembuat patch yang akan digunakan pada relisasi antenna. *Substrate* pada patch yang akan digunakan untuk realisasi antenna adalah

menggunakan bahan FR-4 Epoxy karena lebih ekonomis dan barang tersebut sudah tersedia di pasaran. Secara lebih detail, spesifikasi *substrate* ada pada tabel dibawah ini

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Substrate*

Karakteristik	Nilai	Satuan
Koefisien Dielektrik	4.4	-
Koefisien Permeabilitas	1	-
Rugi-Rugi tan dielektrik	0,025	-
Frekuensi	1 - 9	GHz
Kerapatan massa	1900	Kg/m <sup>3</sup>
Ketebalan tembaga (tp)	0.03	mm
Ketebalan FR4 (ts)	1.6	mm

Sedangkan tabel spesifikasi untuk desain antenna yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

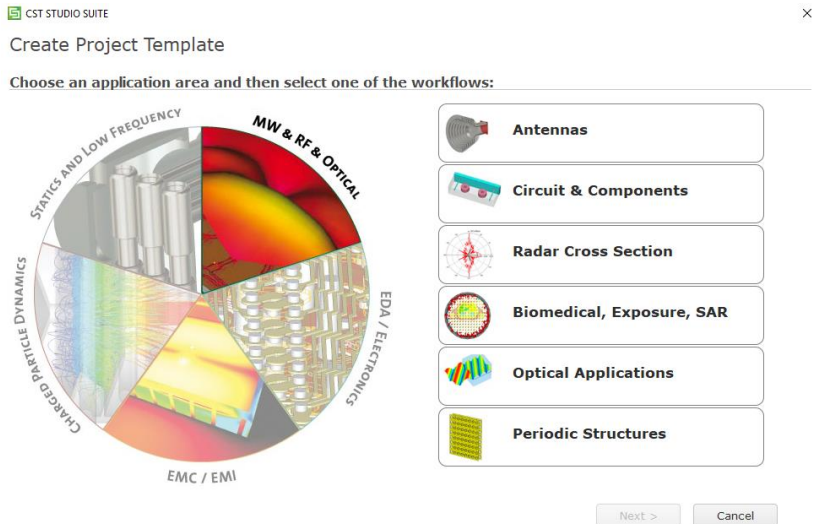
Tabel 3. 2 Spesifikasi Antena

Spesifikasi antena	Keterangan
Bentuk Antena	Rectangular Patch
Frekuensi Kerja	5,92 – 7,025 GHz
Beamwidth	Lebar
Return loss	< - 10 dB
Polarisasi	Dual Polarisasi

### 3.3 Pengaturan Simulasi Antena

Pada subbab ini dijelaskan penggunaan tools dan beberapa konfigurasi yang diperlukan selama proses desan dan simulasi pada software CST Microwave Studio 2017. Penggunaan beberapa tools seperti *Microstrip impedance calculculution*, *port extension coefficient*, maupun *skin depth calculation*. Semua tools tersebut dan berbagai tools penunjang untuk mempermudah pekerjaan kita bisa diakses dalam menu Macros.

Sebelum kita membuat template untuk workspace pekerjaan kita, kita perlu melakukan beberapa pengaturan diproject awal CST Microwave Studio 2017. Beberapa pengaturan tersebut adalah *Static And Low Frequency*, *MW & RF & Optical*, *EDA/Electronics*, *EMC/EMI*, dan *Charged Particle Dynamics*.



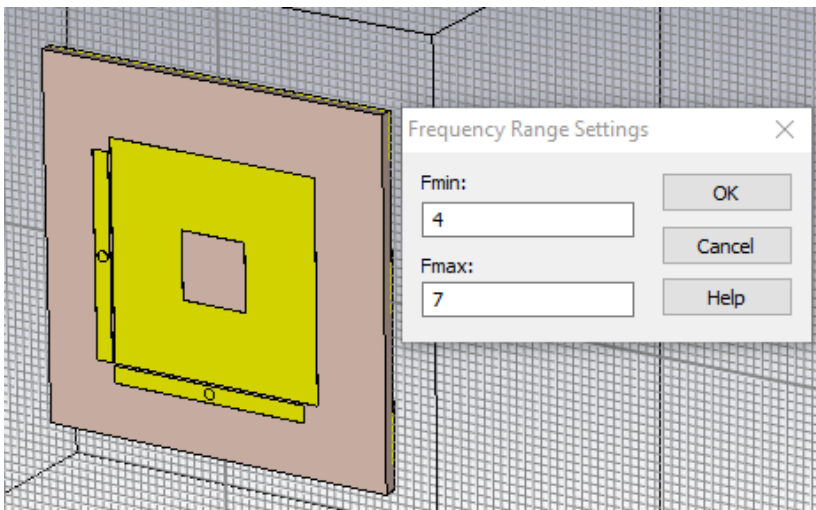
Gambar 3. 3 Jendela Awal CST 2017

Selanjutnya setelah memilih project yang akan dikerjakan, CST akan menyuguhkan pengaturan basic tentang besaran-besaran yang akan kita gunakan semisal suhu, dimensi, frekuensi, waktu, dan tegangan. Kita bisa mengatur secara bebas sesuai acuan besaran yang kita pakai sehari-hari.

Sebelum memulai simulasi project kita ada hal yang harus lebih diperhatikan lagi agar project kita disimulasikan dengan optimal

### 3.3.1 Pengaturan Frekuensi

Pengaturan frekuensi dilakukan pada menu Simulation > *Frequency*. Pengaturan frekuensi bertujuan untuk memberikan boundaries kepada project kita agar saat disimulasikan dapat termonitor sama dengan frekuensi kerja yang kita desain. Dalam pengaturan frekuensi kita dianjurkan untuk tidak memberikan boundaries frekuensi atas dan bawah yang terlalu tinggi dari frekuensi tengah. Hal ini bertujuan untuk membuat efisien simulasi dan juga menghindari munculnya orde resonansi yang lebih tinggi saat simulasi dijalankan.



Gambar 3. 4 Setting Frekuensi

Pada antenna desain kali ini karena bekerja pada rentang frekuensi tengah 6 GHz, maka pengaturan frekuensi dibuat pada rentang 4 GHz – 7 GHz seperti yang ditunjukkan gambar 3.3.

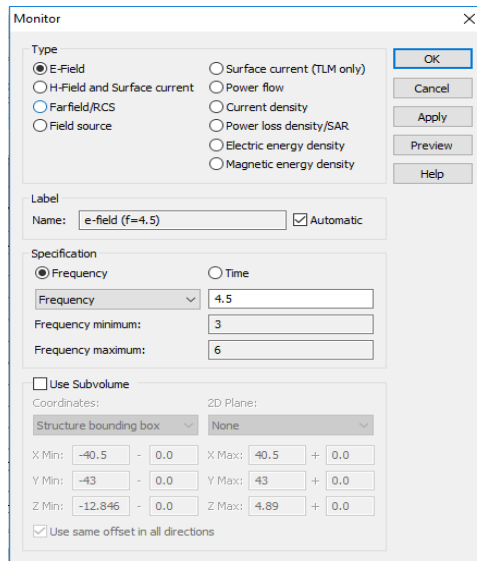
### 3.3.2 Field Monitors

*Field Monitors* digunakan untuk mengetahui karakteristik distribusi medan elektromagnetik dari antenna pada frekuensi tertentu. Field monitors bersifat spesifik dibandingkan *Frequency range*.



Pengaturan field monitors memungkinkan user untuk mendefinisikan frekuensi spesifik untuk diamati karakteristiknya.

Menu Field Monitors dapat diakses melalui Simulation > Field Monitor dengan tampilan jendela seperti pada gambar dibawah ini. Selain itu pada pembuatan workspace awal, user dapat mendefinisikan frekuensi spesifik yang akan diamati.



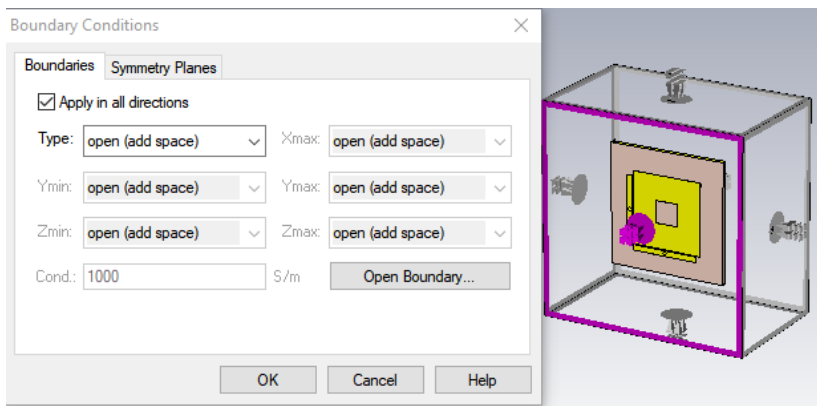
Gambar 3. 5 Jendela *Setting Monitoring Fields*

Jendela pada *Field monitor* memiliki beberapa sub-pengaturan. Type merupakan pengaturan untuk mengatur tipe karakteristik yang ingin diamati. E-Field untuk melihat karakteristik medan listriknya, H-Field untuk mengamati karakteristik medan magnetnya, *farfield* digunakan untuk mengamati pola medan jauhnya, maupun *surface current* digunakan untuk mengamati distribusi arus pada desain antena tersebut. Pada pengaturan untuk menentukan frekuensi spesifik dari type diatas dipilih pada menu specification, pilih *Frequency* dan dimasukkan nilai spesifik yang diinginkan. Misalnya untuk melihat pola radiasi farfield yang dihasilkan oleh antena pada frekuensi 4,5 GHz, maka pada bagian

type dipilih Farfield/RCS, kemudian pada *specification* dimasukkan nilai 4,5.

### 3.3.3 Pengaturan Boundaries

Salah satu pengaturan CST adalah Boundaries Condition. Pada pengaturan ini, CST memberikan pengaturan environment ruang pengukuran kepada user. Pengaturan ini dalam bentuk ruang 3 dimensi, sehingga akan ada 6 sisi seperti dalam *anecholic chamber*.



Gambar 3. 6 Jendela Pengaturan *Boundaries*

Ada beberapa kondisi pengaturan boundaries pada CST seperti dijelaskan dibawah ini

- a. Electrical Boundaries  
Pada kondisi boundaries ini, sisi yang diatur dengan pengaturan ini tidak akan mempunyai tangential elektrik pada permukaannya.
- b. Magnetic Boundaries  
Pada kondisi boundaries ini, sisi yang diatur dengan pengaturan ini tidak akan mempunyai tangential magnetic pada permukaannya. Pengaturan ini cocok untuk desain waveguide.
- c. Open Boundaries

Pengaturan ini membuat sisi yang diatur user akan mempunyai kondisi seperti ruang hampa (free space). Gelombang yang merambat akan memiliki pantulan minimum oleh lingkungan.

d. Open (add space) Boundaries

Pengaturan ini memungkinkan sisi yang diatur oleh user memiliki pengaturan yang sama dengan Open Boundaries. Tapi, ada kelebihan tambahan dari pengaturan ini yaitu memberikan ekstra ruang free space untuk farfields. Sehingga user tidak perlu mengatur ruang sesuai persamaan medan jauh.

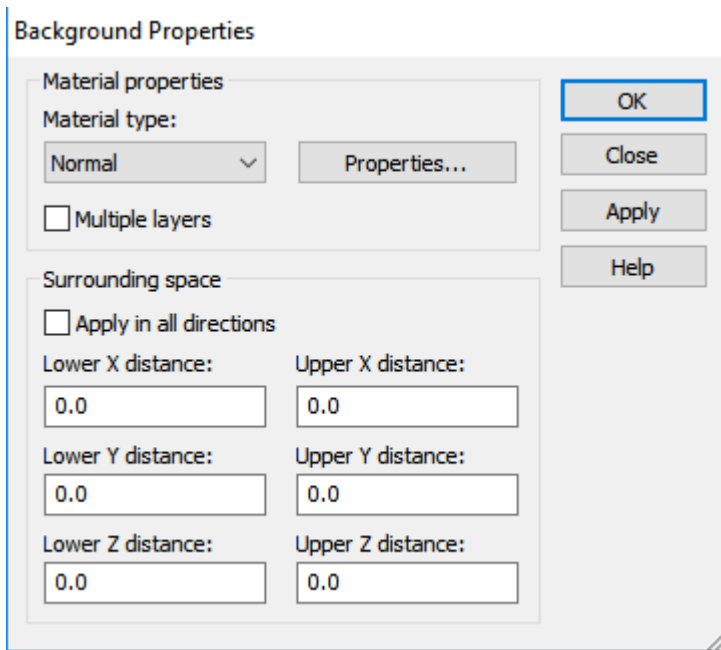
e. Conducting Wall

Pengaturan ini memungkinkan user membuat environment dengan Electric Conducting Wall dengan konduktivitas terbatas.

Untuk pengaturan pada tugas ini, masing-masing pada bidang (XY,XZ,YZ) arah positif maupun negatif diisi dengan pengaturan boundaries open (add space). Pemilihan ini didasarkan karena boundaries open merupakan environment pengukuran yang paling ideal untuk sebuah antena ditambah lagi ada ekstra ruang untuk farfields. Umumnya juga, pengaturan ini memberikan hasil yang terbaik dalam melakukan simulasi khususnya antena.

### **3.3.4 Pengaturan *Background***

Pengaturan *Background* adalah pengaturan dimana pada simulasi dipilih material yang akan memenuhi volume simulasi. Untuk antena, umumnya yang digunakan adalah udara. Pada pengaturan ini dipilih normal karena memiliki karakteristik seperti pada kondisi ruang bebas, Untuk mengubahnya dipilih bagian simulasi > *Background*> ubah type material menjadi normal.



Gambar 3. 7 Jendela Pengaturan *Background*

### 3.3.5 Pengaturan Port

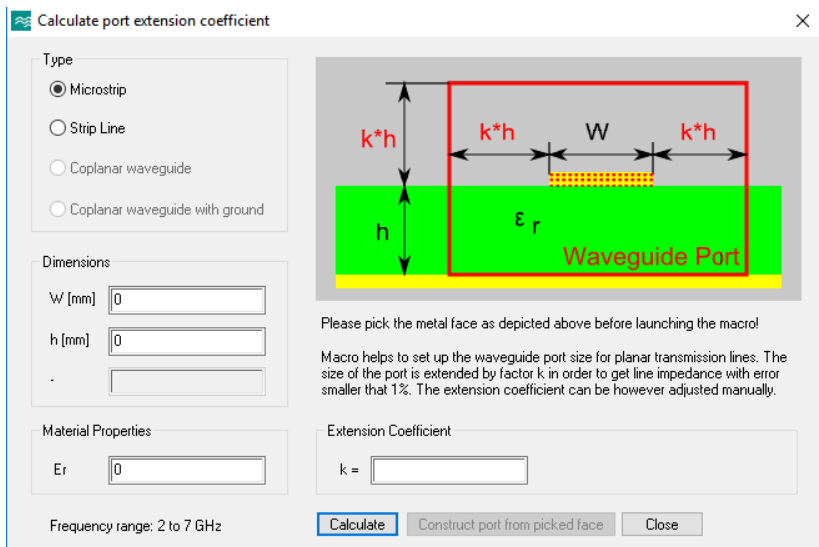
Tahap akhir dari desain antenna adalah menyimulasikannya. Dalam CST simulasi dibuat dengan environment dibuat seperti keadaan sesungguhnya. Salah satu komponen dalam pengaturan pengukuran adalah port.

Secara umum definisi sebuah port *Waveguide* adalah saluran yang mentransmisikan gelombang elektromagnetik pada bumbung. *Port* pada CST mensimulasikan waveguide dengan panjang struktur tak hingga. Mode Waveguide bergerak keluar dari struktur menuju bidang batas tak terbatas sehingga meninggalkan domain komputasi dengan tingkat refleksi yang sangat rendah hingga -100 dB. Refleksi yang sangat rendah dapat dicapai bila pola mode waveguide di port cocok dengan pola mode dari waveguide pada struktur. Semisal  $TE_{10}$  atau  $TM_{10}$ .

Pada tugas akhir ini ada beberapa teknik pencatutan yang digunakan. Salah satunya adalah teknik pencatutan *Microstrip*. Pencatutan ini digunakan untuk menguji paper yang dirujuk dengan pencatutan antenna desain yang menggunakan probe *feeding*.

Pembuatan *waveguide port* dapat dilakukan secara manual dengan mengisi nilai-nilai pada menu *Simulation > Waveguide Port*. Ada cara lain untuk membuat waveguide dengan hasil yang lebih akurat. Cara tersebut menggunakan sebuah tools yang disediakan oleh CST.

Pengaturan tools tersebut berada pada *menu Home > Macros > Solver > Ports > Calculate port extension coefficient*. Kemudian akan muncul jendela seperti ditunjukkan gambar 3.7. Sebelum menggunakan tools ini, langkah yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah dengan menyorot bagian ujung *feeding* dengan menggunakan *pick face*. Langkahnya menu *Modeling > Picks > Pick Face*.



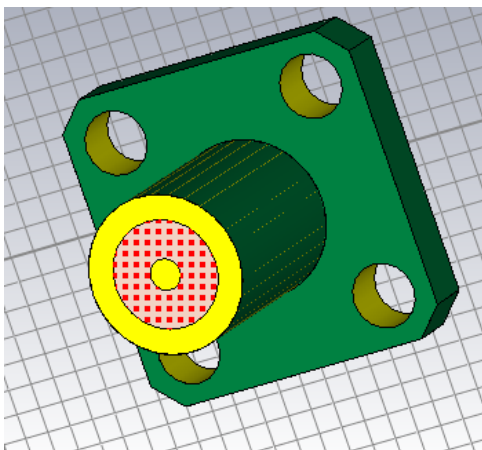
Gambar 3. 8 Jendela Pengatur *Port Extension*

Selanjutnya pilih tombol calculate. Setelah itu akan ada proses kalkulasi secara otomatis oleh software yang memunculkan nilai k. Nilai k adalah rasio  $W/h$ , nilai permittivitas *substrate* ( $\epsilon_r$ ), dan rentang

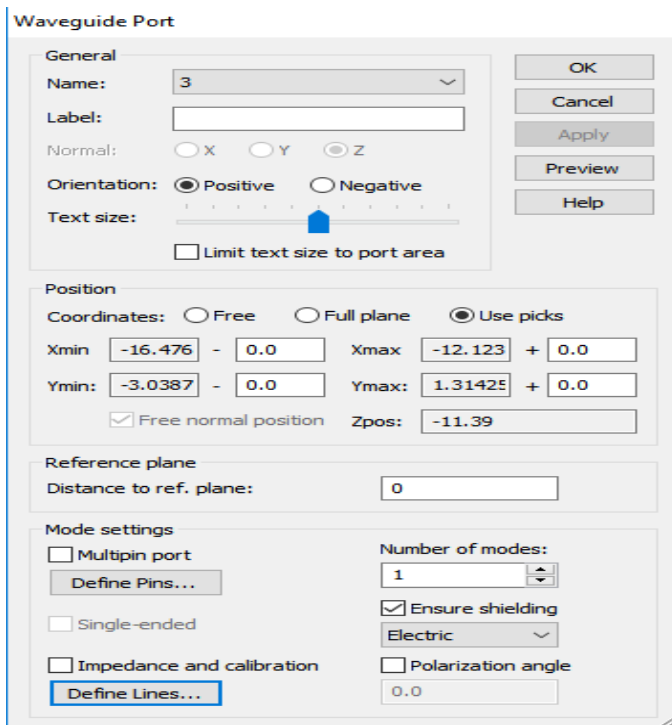
frekuensi simulasi yang mempengaruhi *port extension coefficient*. Setelah itu klik tombol *Construct port from picked face*, maka pembuatan waveguide telah selesai untuk simulasi.

Untuk desain menggunakan probe *feeding* cara untuk membuat waveguidenya tidak berbeda jauh. Pertama adalah membuat desain probe sesuai dengan datasheet dari pabrik yang membuat barang tersebut. *Datasheet probe feeding* pada tugas akhir ini bisa dilihat pada lampiran 1.

Langkah selanjutnya adalah menyorot probe *feeding* pada bagian *substratenya*. Langkahnya adalah dengan pilih menu Modeling > Picks > Pick Face. Pastikan menyorot seperti pada gambar 3.8. Langkah selanjutnya adalah memilih menu Simulation > Waveguide Port. Nantinya akan muncul jendela seperti gambar 3.9, pilih centang *ensure shielding electric*. Pengaturan ini berfungsi agar medan listriknya tidak menembus sekitarnya. Kemudian pilih ok.



Gambar 3. 9 *Pick Face* pada Port



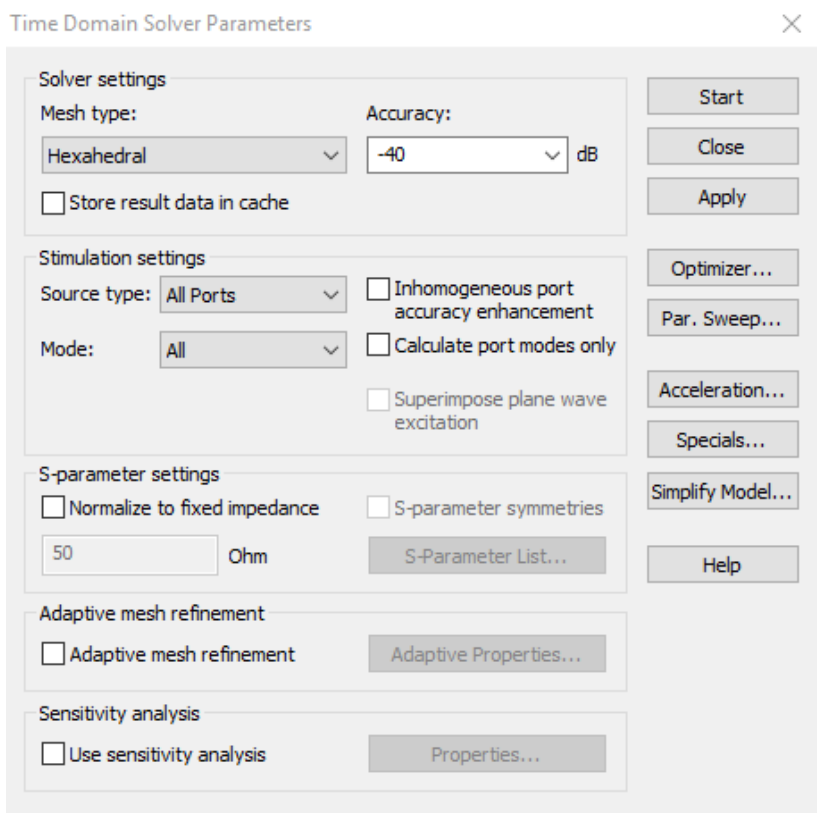
Gambar 3. 10 Jendela Pengaturan *Waveguide Port*

### 3.3.6 Pengaturan Solver

Pada CST ada banyak pengaturan untuk solver. Solver sendiri adalah sarana untuk menjalankan simulasi tersebut setelah semua komponen desain baik port atau *Microstrip* line sudah terpasang Waveguide Port.

Dalam CST, ada berbagai macam solver. *Transient*, *Frequency Domain*, *Eigenmode*, *FD Resonant*, *Integral Equation*, dan *Asymptotic Solver*. Pada kasus tugas akhir desain antenna ini pengaturan solver menggunakan *Transient Solver* atau *Time Domain Solver*. Alasan utama penggunaan solver ini dikarenakan ranah kerja tipe solver ini efektif untuk

model sedang dan besar. Model antenna ini pada tugas akhir ini sesuai dengan kondisi tersebut.



Gambar 3. 11 Jendela Pengaturan Time Solver

Langkah untuk menampilkan jendela pada gambar diatas adalah menu *Simulation > Setup Solver*. Dalam *Time Domain Solver* terdapat dua macam mesh type. Salah satunya didasarkan pada *Finite Integration Technique (FIT)*, yang disebut sebagai *Transient Solver*. Sedangkan yang kedua adalah TLM solver, pengaturan ini didasarkan atas *Transmission*



*Line Method (TLM)*. Kedua metode ini bekerja pada grid hexahedral. Masing-masing dari keduanya memiliki pengaturan sendiri-sendiri.

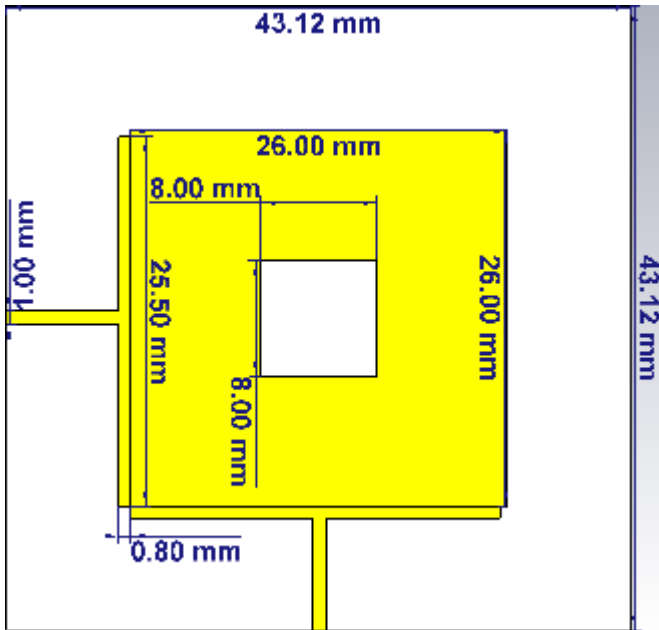
Pada jendela diatas terdapat berbagai macam pengaturan. Pada bagian accuracy, adalah pengaturan berapa step yang harus dilakukan hingga simulasi dirasa cukup. Semakin kecil nilainya, hasil simulasi akan semakin akurat, namun akan berdampak pada waktu simulasi yang menjadi lebih lama. Dibawah kelompok Simulation Setting, pada source type diisi All Ports yang berarti semua port yang ada dalam antenna akan disimulasikan.

Pengaturan selanjutnya, pada kelompok *S-Parameter settings*, diaktifkan pilihan Normalize to fixed impedance kemudian pada kolom dibawahnya diisi 50. Dengan demikian, semua hasil simulasi yang berhubungan dengan nilai impedansi (*S-Parameter* dan VSWR) akan langsung ternormalisasi dengan impedansi 50 ohm. Sementara itu, pilihan Adaptive mesh refinement juga perlu diaktifkan agar saat simulasi, kerapatan mesh yang dibuat menyesuaikan dengan geometri antenna. Meshing merupakan pendiskritan *objek saat proses simulasi*. Pada *Time Domain Solver*, objek akan disampel ke dalam kubus-kubus kecil yang dimiliki enam sisi (hexahedral). Semakin banyak jumlah sampel, hasil simulasi akan lebih akurat namun waktu yang diperlukan menjadi lebih lama. Oleh karena itu, adaptive mesh refinement hanya memperbanyak jumlah sampel (mesh) pada bagian-bagian tertentu yang diperlukan saja, misalnya pada bagian lekukan objek.

### **3.4 Perancangan dan Simulasi**

#### **3.4.1 Antena Slot Rectangular**

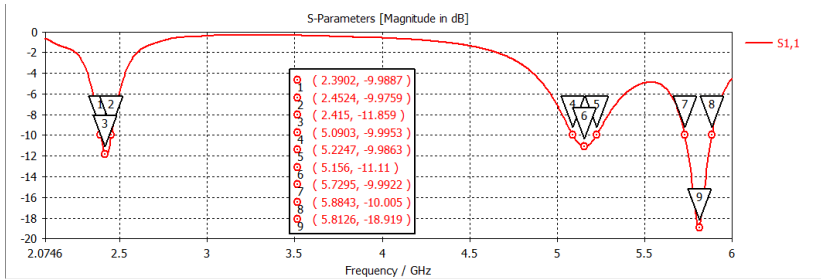
Antena *Slot Rectangular* memiliki bentuk seperti *Microstrip rectangular patch*. Antena ini diperoleh dari referensi pada paper [4]. Antena ini didesain untuk aplikasi MIMO pada WLAN. Karakteristik antenna ini adalah memiliki dua polarisasi (Vertikal dan Horizontal), mempunyai slot ditengah berbentuk persegi, dan dapat bekerja pada dual frekuensi. Untuk selanjutnya maka antenna jenis ini kita sebut dengan Antena *Slot Rectangular*. Frekuensi tengah antenna tersebut pada 2,45 GHz dan 5,87 GHz.



Gambar 3. 12 Ukuran Antena *Slot Rectangular*

Pemilihan antenna ini sebagai rujukan dikarenakan desain antenna tersebut memiliki dual polarisasi (Crosspolar). Polarisasinya yaitu horizontal dan vertikal. Adapun untuk ukuran desain ada pada gambar 3.11 diatas. Dengan adanya sebuah jarak antara T-Structure dengan rectangular patch sebesar 0,01 mm. Bahan *substrate* antenna tersebut dalam paper adalah FR-4 ( $\epsilon_r = 4,4$ ) dengan tebal 1,6 mm dengan ketebalan lapisan tembaga 0,035 mm.

Selanjutnya antenna tersebut dibuat dalam software CST yang kemudian disimulasikan untuk dilihat parameter-parameternya seperti  $S_{11}$ , VSWR, dan Farfield antenna. Pengaturan frekuensi boundaries disetting pada frekuensi 2-6 GHz.

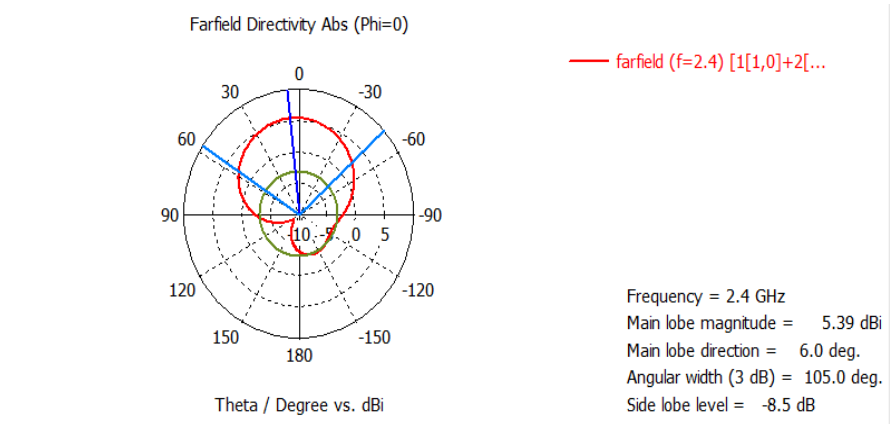


Gambar 3. 13 Tampilan *S-Parameters* Antena Slot Rectangular

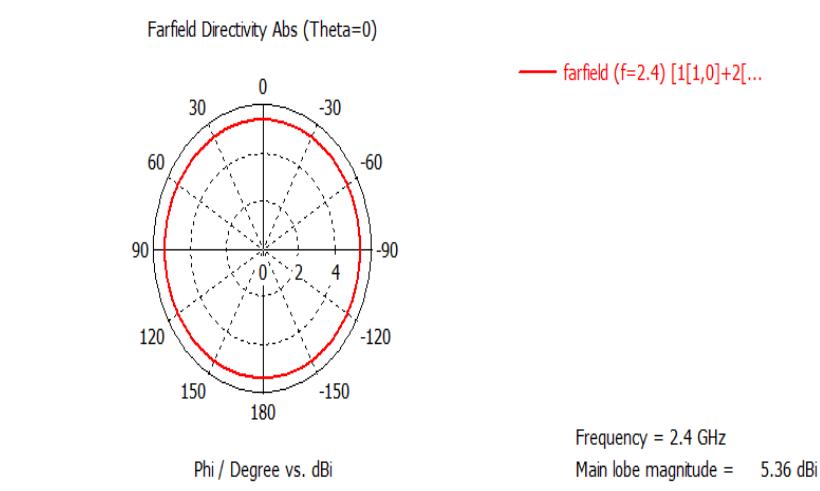
Dari hasil gambar 3.12 diatas terlihat bahwa antena jenis 1 ini ternyata memiliki 3 buah band. Dalam simulasi ini dengan hasil yang ada di paper memiliki bentuk yang sama. Dikarenakan pada paper berfokus pada frekuensi *Wi-Fi* (2,40 – 2,484 GHz) dan *Wi-Fi Protocol* (5,725 – 5,850 GHz). Pengambilan nilai bandwidth bisa dilihat pada pembahasan 2.1.8 Bandwidth .Untuk lebih spesifik mengenai *S-Parameter* diatas bisa dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3. 3 Keterangan *S-Parameters* Antena Slot Rectangular

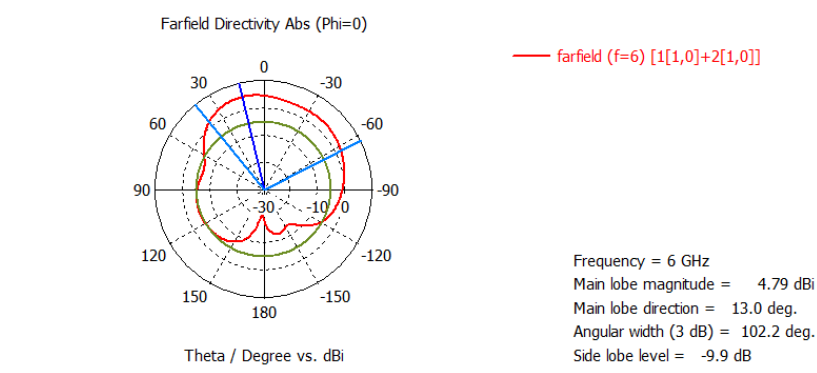
Frekuensi Tengah (GHz)	Bandwidth (MHz)
2,4	62,2
5,1	134,4
5,8	154,8



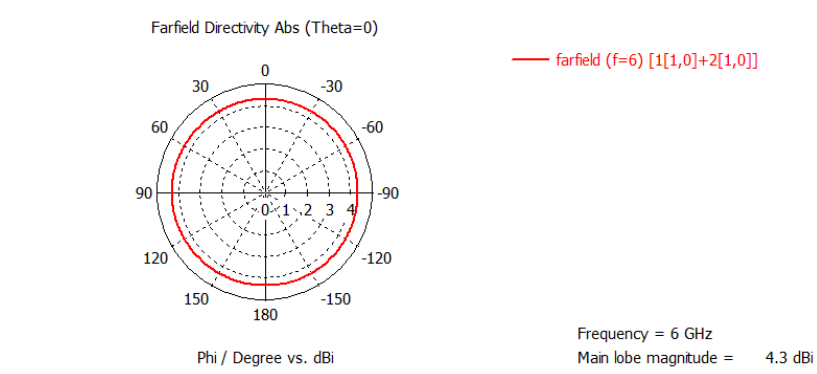
Gambar 3. 14 Medan *E-Plane* Antena Slot Rectangular



Gambar 3. 15 Medan *H-Plane* Antena Slot Rectangular



Gambar 3. 16 Hasil *Combine E-Plane* Port 1 dan 2

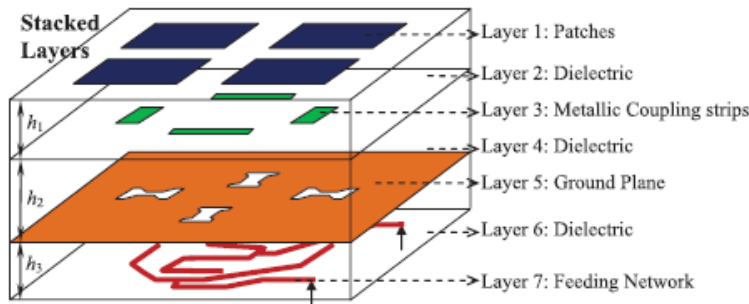


Gambar 3. 17 Hasil *Combine H-Plane* pada Port 1 dan 2

Pada gambar 3.13 menjelaskan bentuk *farfield* pada bidang E-Field (bidang  $\phi=90^\circ$ ) pada frekuensi tengah 2,415 GHz memiliki arah *main lobe* pada sudut  $6,0^\circ$  dengan *HPBW* sebesar  $105,0^\circ$ . Sedangkan pada gambar 3.15 menjelaskan *farfield* pada bidang E-Field (bidang  $\phi = 0^\circ$ ) pada frekuensi tengah 5,8126 GHz memiliki arah *main lobe* pada sudut  $13,0^\circ$  dengan *HPBW* sebesar  $102,2^\circ$ .

3.4.2 Antena Stacked

Desain antena stacked didapat dari referensi paper [5]. Antena ini gambar 3.17 memiliki tiga lapisan substrat. Dengan masing-masing *substrate* terdapat rectangular patch, strips, slots, dan *feeding structure*.

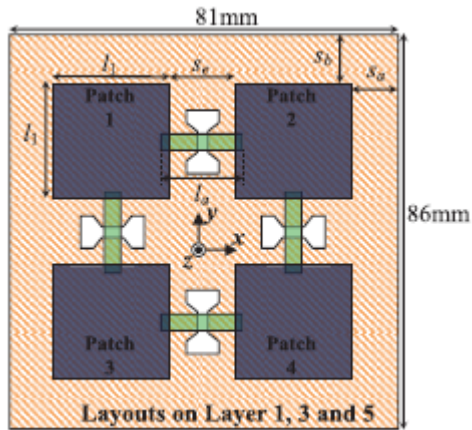


Gambar 3. 18 Antena *Stacked*

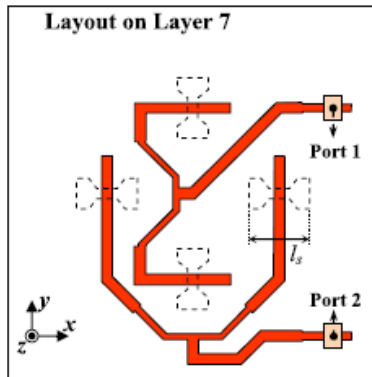
Pada layout yang menampilkan sisi timbulnya saja, diberikan besaran nilai untuk komponen patch, strip, tebal substrat, dan luas substrat. Sedangkan untuk lebar strip, pola bowtie, maupun *feeding structure* pada antena ini dilakukan trial error dengan eksperimen.

Tabel 3. 4 Parameter *Antena Stacked*

Parameter	Besaran (mm)
$l_1$	23.7
$s_a$	10.0
$s_b$	12.5
$s_e$	13.7
$h_1$	0.762
$h_2$	1.5
$h_3$	0.762
$l_a$	16.6



Gambar 3. 19 Wire Graph Antena Stacked



Gambar 3. 20 Tampak Belakang Antena Stacked

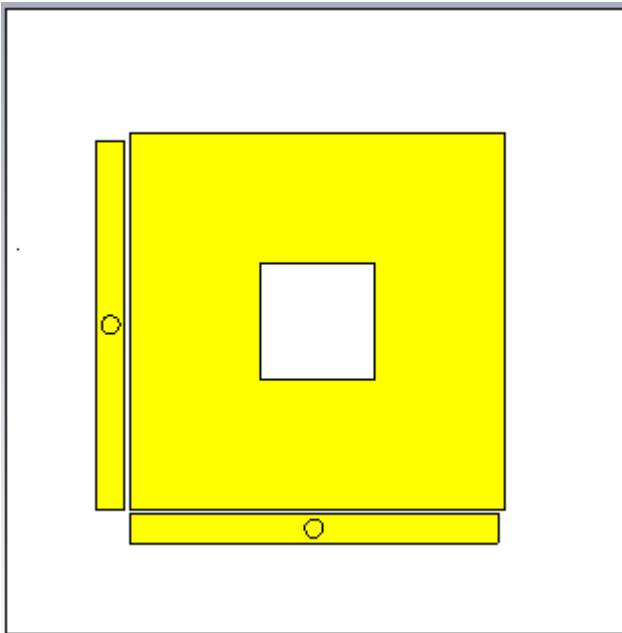
Antena yang bekerja pada frekuensi 3.8 GHz dengan dimensi sebesar panjang sebesar 86 mm dan lebarnya sebesar 81 mm memiliki beberapa keunggulan. Seperti Isolasi yang tinggi atas mutual coupling yang mencapai -35 dB serta tentunya memiliki dual polarization.

### 3.5 Optimasi Desain Elemen Tunggal Antena *Slot Rectangular*

#### 3.5.1 Modifikasi Jenis Antena

Desain pada jenis Antena *Slot Rectangular* menggunakan teknik *Microstrip line feeding*. Kelemahan menggunakan teknik pencatuan *Microstrip feeding* adalah ketika elemen antena tersebut akan di-array baik secara linier ataupun planar, penyusunan komponen port tidak bisa untuk mencatu secara langsung. Diperlukan sebuah teknik khusus menggunakan *feeding structure*.

Penggunaan probe *feeding* untuk pencatuan pada antena jenis 1 memungkinkan antena tersebut dicatu untuk tiap port secara langsung dalam kondisi array.



Gambar 3. 21 Modifikasi *Probe Feeding* Antena *Slot Rectangular*

Pada desain diatas modifikasi terletak pada perubahan T-structure Microstripe Line *Feeding* diubah menjadi *Probe feeding*. Desain diatas juga masih mempertahankan bagian coupling dikarenakan

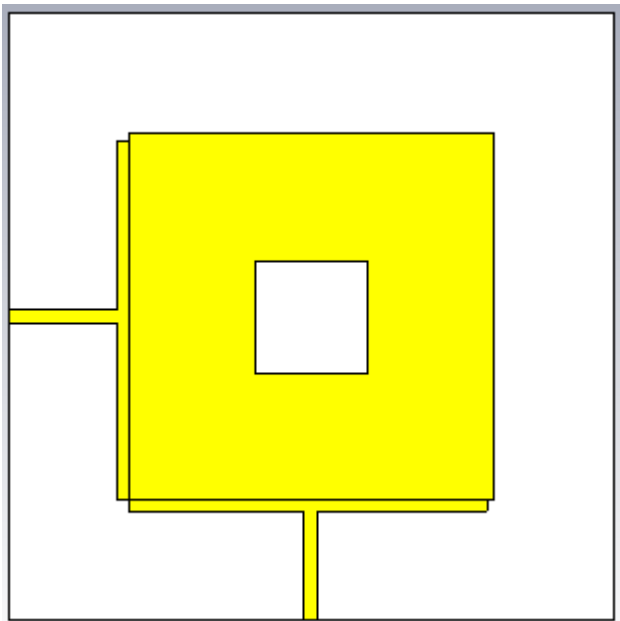


memiliki isolasi yang bagus pada desain paper sebelumnya. Serta, pada bagian tersebut diubah lebarnya menjadi 2 mm dari yang semula 0,8 mm dikarenakan diameter pada pin probe sebesar 1,27 mm. Datasheet ada pada lampiran 3

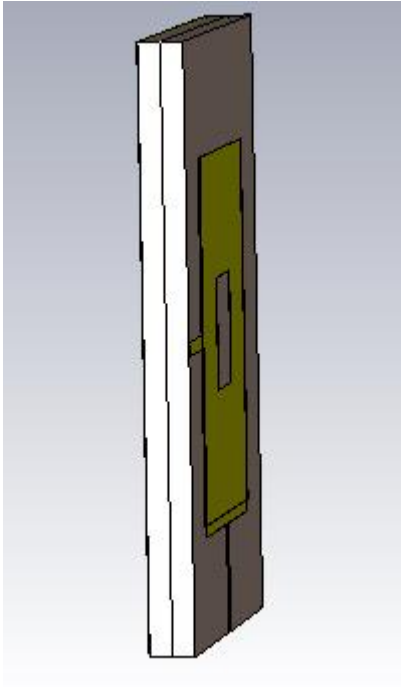
### **3.5.2 Modifikasi Penambahan *Substrate***

#### **3.5.2.1 Antena *Slot Rectangular***

Desain antena *Slot Rectangular* hanya memiliki satu *substrate* saja. Pada modifikasi kali ini bereksperimen dengan penambahan jumlah *substrate* menjadi dua *substrate* (stacked). Bahan penyusun *substrate* dari FR-4 dengan nilai permitivitas sebesar 4,4. Untuk parameter selain *substrate* tidak ada perubahan.

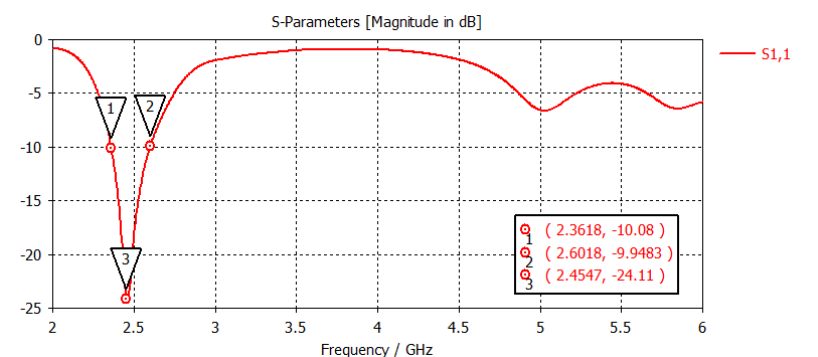


Gambar 3. 22 Tampak Depan Antena Slot Rectangular



Gambar 3. 23 Tampak Samping Antena dengan *Substrate* double

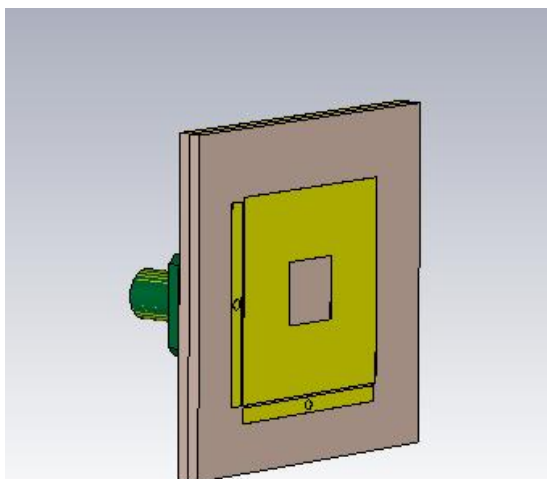
Pada modifikasi kali ini, grafik S-Paramater terjadi perubahan yang signifikan. Pada frekuensi kerja 5,8 GHz, kecuraman pada grafik *S-Parameter* tidak ada. Atau dengan kata lain band pada frekuensi tersebut tidak ada. Akan tetapi pada frekuensi kerja 2,4 GHz yang semula mempunyai bandwidth sebesar 62,2 MHz. Sekarang ketika digunakan metode penambahan *substrate* mempunyai bandwidth sebesar 240 MHz.



Gambar 3. 24 *S-Parameter Antena Slot Rectangular*

### 3.5.2.2 Antena *Slot Rectangular* dengan *Probe Feeding*

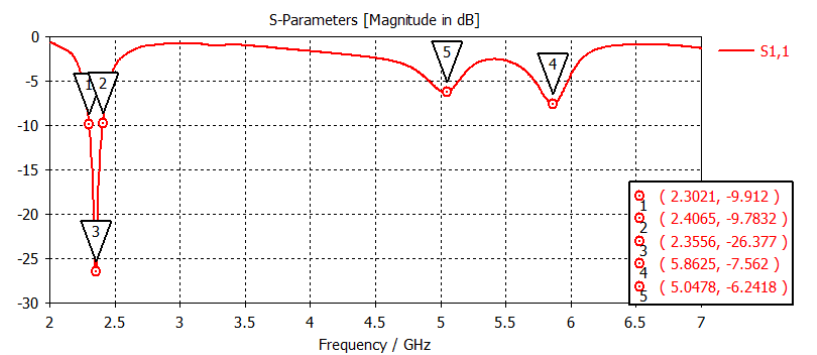
Modifikasi antena *Slot Rectangular* dengan *probe feeding* menggunakan teknik *stacked substrate* bertujuan agar menambah bandwidth pada antena tersebut. Penggunaan metode *probe feeding* pada antena *Slot Rectangular* memang menyelesaikan permasalahan reliabilitas dalam pemasangan port ketika elemen-elemen tersebut



Gambar 3. 25 Antena *Probe Feeding* dengan *Substrate double*

disusun secara array. Mengacu pada pembahasan subbab 2.3.1 pada bagian Coaxial

Probe *Feeding*, memang antenna yang dipasang dengan metode probe *feeding* akan membuat bandwidth antenna menjadi sempit. Bisa dilihat perbandingan pada hasil pembahasan 3.5.1 dengan Grafik *S-Parameter* dibawah ini pada gambar 3.25



Gambar 3. 26 *S-Parameter* Antena gambar 3.25

Terjadi pergeseran frekuensi tengah dari yang semula dari 2,4 GHz menjadi 2,35 GHz. Grafik *S-Parameter* diatas juga mempunyai bentuk pola yang sama dengan grafik *S-Parameter* pada subbab 3.4.1. Akan tetapi pada kasus ini, cekungan yang terdapat pada frekuensi 2,35 GHz semakin lebih dalam. Namun pada cekungan frekuensi 5,1 GHz dan 5,8 GHz cekungan hampir mendekati tidak ada. Ini berarti pada band tersebut tidak ada parameter antenna yang memenuhi.

### 3.5.3 Modifikasi Lebar Gap Antena Slot Rectangular

Pada subbab kali ini akan dijelaskan eksperimen mengenai pengamatan perubahan nilai gap (jarak) dari T-Struktur dengan rectangular patch.

Latar belakang memulai percobaan ini adalah karena keterbatasan peralatan di percetakan lokal. Pada desain awal paper, nilai gap adalah 0,01 mm. Akan tetapi, nilai tersebut dirasa kurang realistis untuk fabrikasi.

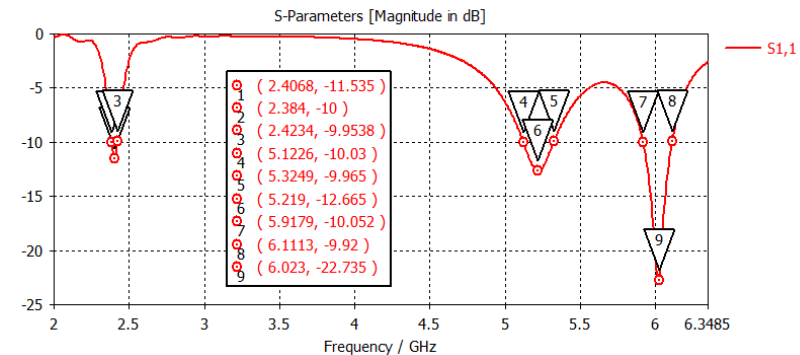
Ada dua percetakan yang akan dibandingkan untuk percobaan kali ini. Peralatan pisau laser dari percetakan keduanya memiliki kapabilitas untuk pemenuhan kebutuhan yang berbeda. Untuk lebih jelasnya mengenai kapabilitas bisa dilihat pada tabel berikut

Tabel 3. 5 Perbandingan Kapasitas Percetakan

Percetakan	Spesifikasi pemotongan	Lokasi
Spectra	0,3 mm	Bandung, Indonesia
JLCPCB	0,13 mm	Shenzen, RRT

### 3.5.3.1 Modifikasi Gap 0,13 mm

Pada eksperimen kali ini berdasarkan kapabilitas lebar jarak pemotongan dua buah patch. Percobaan kali ini menggunakan antenna modifikasi pada subbab 3.5.1. Modifikasi kali ini tidak mengubah parameter apapun kecuali lebar gap antara T-Structure dan rectangular patch



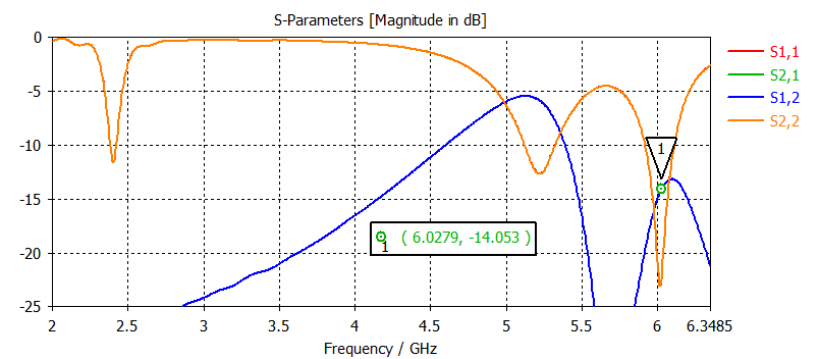
Gambar 3. 27 *S-Parameters* Gap 0.13 mm

Pada modifikasi ini, grafik *S-Parameters* pada gambar 3.26 bisa dilihat bahwa ada tiga cekungan yang melebihi nilai  $-10$  dB. Cekungan tersebut terdapat pada band frekuensi 2,4 GHz , 5,2 GHz, dan 6,0 GHz. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel 3.6

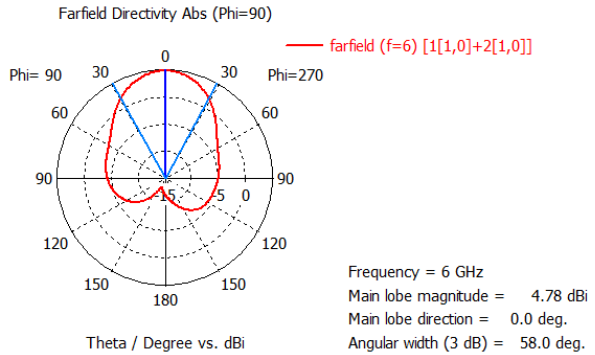
Tabel 3. 6 *S-Parameters* Gap 0.13 mm

Frekuensi	Bandwidth (MHz)
2,4 GHz	39,4
5,2 GHz	202,3
6,0 GHz	193,4

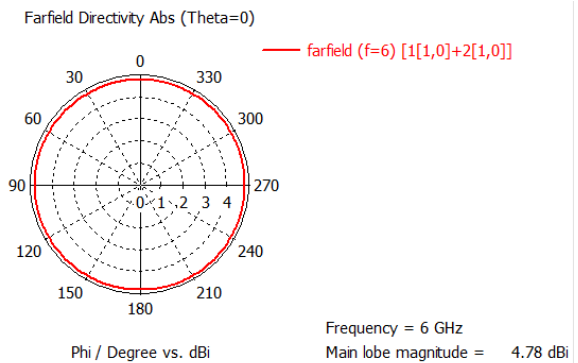
Melihat data dari diatas, antenna pada subbab 3.5.1 bisa bekerja pada triple band. Sedangkan untuk nilai isolasinya, lebar gap 0,13 mm belum bisa aman dari mutual coupling. Karena nilai mutualnya berada pada -14 dB dari kriteria aman terhadap mutual coupling sebesar -20 dB. Grafik mutual coupling bisa dilihat pada gambar 3.27



Gambar 3. 28 *S-Parameters* modifikasi Gap 0.13 mm



Gambar 3. 29 *E-Plane* Antena modifikasi Gap 0.13 mm

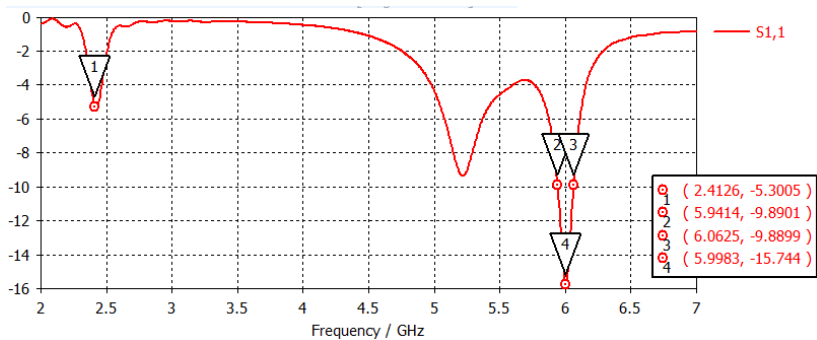


Gambar 3. 30 *H-Plane* Antena modifikasi Gap 0.13 mm

Pola radiasi dari modifikasi antena ini ada pada 3.28. Dari gambar tersebut didapatkan informasi untuk elemen tunggal antena ini memiliki magnitudo *main lobe* sebesar 4,78 dB dengan arah pancaran pada sudut  $0^0$ . Nilai spurious lobe tidak ada, sedangkan nilai backlobe terbesar adalah -6,812 dB.

### 3.5.3.2 Modifikasi Gap 0,3 mm

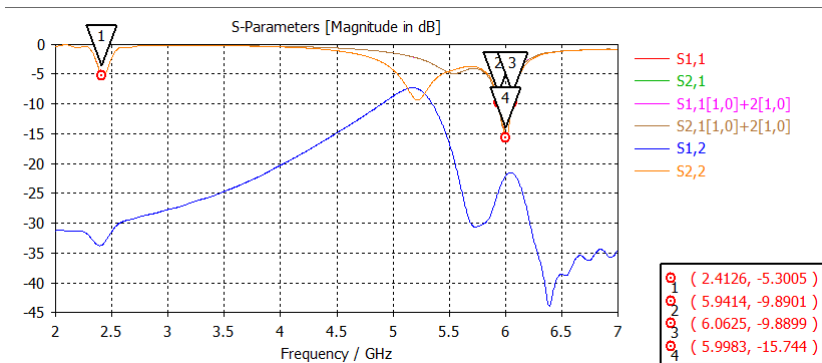
Pada eksperimen kali ini berdasarkan kapabilitas lebar jarak pemotongan dua buah patch. Percobaan kali ini menggunakan antenna modifikasi pada subbab 3.5.1. Modifikasi kali ini tidak mengubah parameter apapun kecuali lebar gap antara T-Structure dan rectangular patch



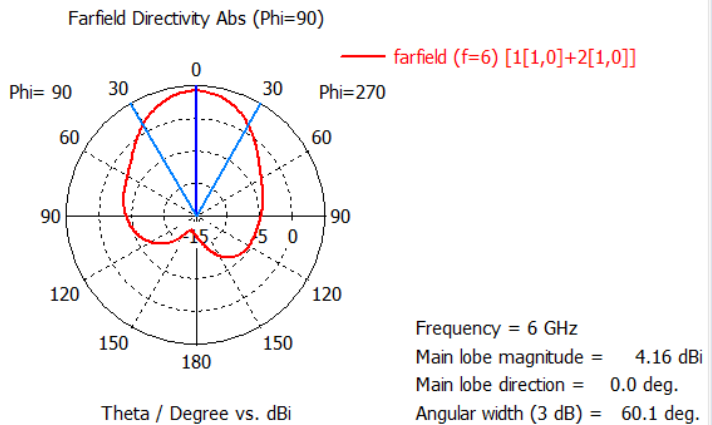
Gambar 3. 31 *Return Loss* modifikasi Gap 0.3 mm

Gambar 3.30 terlihat adanya perbedaan antara pencatutan *Microstrip line feeding* dengan *probe feeding*. Pada pembahasan pada subbab 3.4.1, grafik *S-Parameter* terdapat 3 cekungan pada frekuensi 2,45 GHz ; 5,1 GHz dan 5,8 GHz. Sedangkan pada grafik *S-Parameter* dengan pencatu *probe feeding* memiliki pola yang sama dengan *S-Parameter* pembahasan 3.4.1. Frekuensi kerja mengalami pergeseran yang semula pada 5,8 GHz menjadi 6 GHz . Namun, pada penggunaan metode ini dikarenakan ada energi yang hilang dalam bentuk *surface wave* sehingga *Return Loss* meningkat. Sedemikian hingga berakibat cekungan tersebut nilainya naik. Sedangkan untuk isolasi *mutual coupling* masih bagus. Grafik bisa dilihat pada gambar 3.31

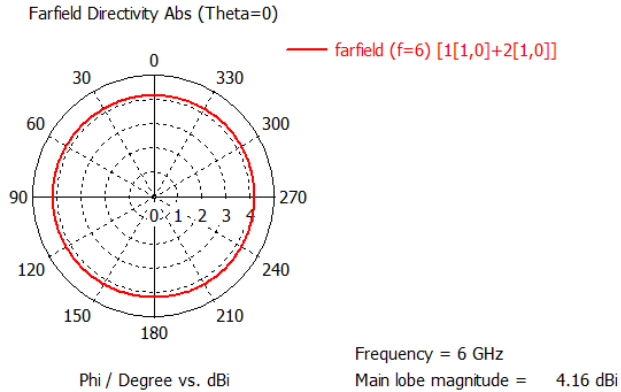




Gambar 3. 32 *S-Parameters* modifikasi Gap 0.3 mm



Gambar 3. 33 *E-Plane* modifikasi Gap 0.3 mm

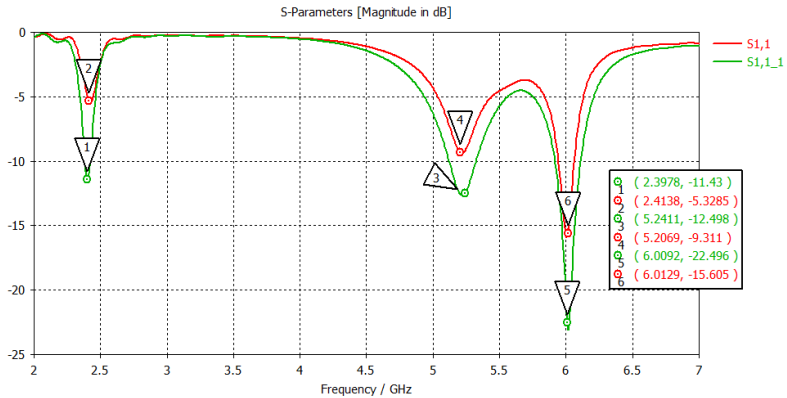


Gambar 3. 34 H-Plane modifikasi Gap 0.3 mm

Antena mengalami perubahan arah *main lobe* direction pada frekuensi 6 GHz dari yang semula dari  $13,0^0$  menjadi  $0,0^0$ . Sedangkan pada gambar 3.32 yang menjelaskan E-Field (bidang  $\phi = 90^0$ ) terjadi perubahan HPBW dari  $102,0^0$  menjadi  $60,1^0$ . Perubahan ini tidak ada masalah karena mengacu pada referensi antena sektoral pada komunikasi seluler ialah memiliki *HPBW* sebesar  $120^0$ . Sedangkan pada gambar 3.33 tentang medan H-Field tidak dipermasalahkan juga karena kerja antena ini hanya mengambil medan E-Field saja.

### 3.5.3.3 Perbandingan Gap 0,13 mm dengan 0,3 mm

Pada pembahasan sebelumnya telah disampaikan perubahan lebar gap juga mengubah karakteristik *S-Parameter*. Grafik pada garis merah (*S-Parameter* 0,3 mm) dengan garis hijau (*S-Parameter* 0,13 mm). Pada modifikasi lebar gap 0,13 mm, antena memiliki 3 band frekuensi, yaitu pada 2,4 GHz ; 5,2 GHz ; dan 6,00 GHz. Sedangkan pada modifikasi lebar gap 0,3 mm, antena memiliki satu band frekuensi saja, yaitu pada frekuensi 6 GHz. Untuk perbandingan grafik *S-Parameter* bisa dilihat pada gambar 3.34



Gambar 3. 35 Perbandingan Return Loss 0.13 mm dengan 0.3 mm

Dari grafik (gambar 3.34) diatas terjadi kenaikan cekungan pada grafik *S-Parameter*. Pada frekuensi 2,4 GHz terjadi kenaikan sebesar 6,09 dB. Selanjutnya, pada frekuensi 5,2 GHz terjadi kenaikan sebesar 3,19 dB, dan yang terakhir pada frekuensi 6,0 GHz terjadi kenaikan sebesar 3,187 dB. Karena ada korelasi antara lebar gap dengan meningkatnya cekungan pada grafik *S-Parameter*. Maka bisa diambil kesimpulan bahwa kenaikan tersebut terjadi akibat adanya loss energi akibat jarak gap yang jauh. Lebih jelasnya bisa dilihat pada tabel berikut

Tabel 3. 7 Perbandingan Gap 0.3 mm dengan 0.13 mm

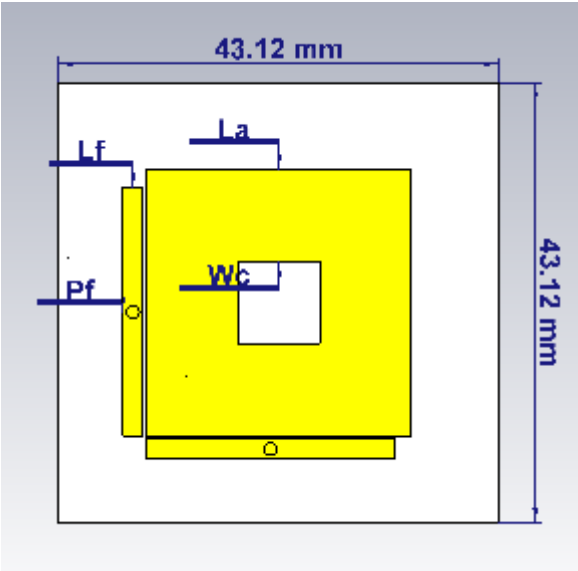
Frekuensi	Perubahan	Kapabilitas Band	Bandwidth
2,4 GHz	6,09 dB	Tidak ada	-
5,2 GHz	3,19 dB	Tidak ada	-
6,0 GHz	3,187 dB	ada	116,8 MHz

### 3.5.4 Antena Single Terpilih jenis *Slot Rectangular*

Setelah dibahas pada subbab sebelumnya diatas didasarkan pada eksperimen yang telah dilakukan maka untuk pemilihan didasarkan pada antena dengan probe *feeding* dengan lebar gap 0.3 mm dikarenakan antena tersebut bisa difabrikasi di Indonesia serta pencatutan dengan

teknik probe *feeding* memungkinkan untuk pembuatan secara array dengan lebih mudah.

Spesifikasi antenna tersebut secara jelas bisa dilihat pada tabel 3.8



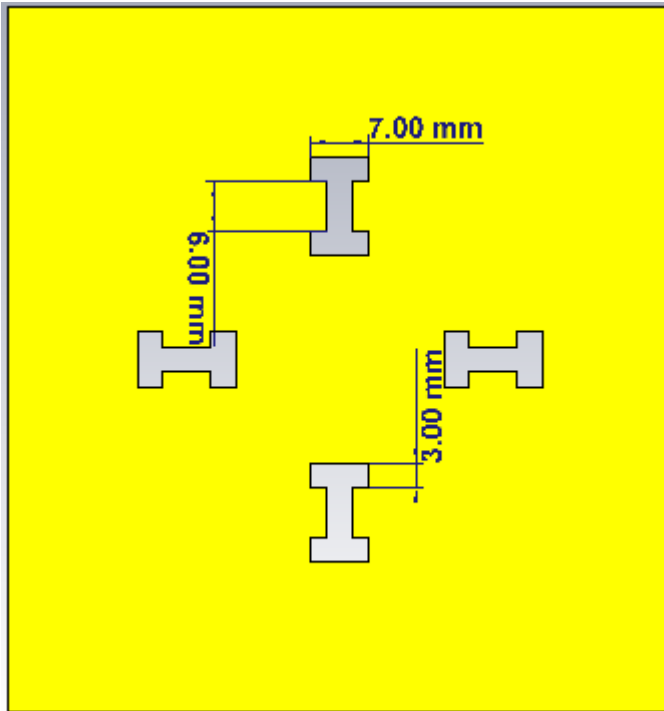
Gambar 3. 36 Ukuran Antena Terpilih

Tabel 3. 8 Parameter Antena Terpilih

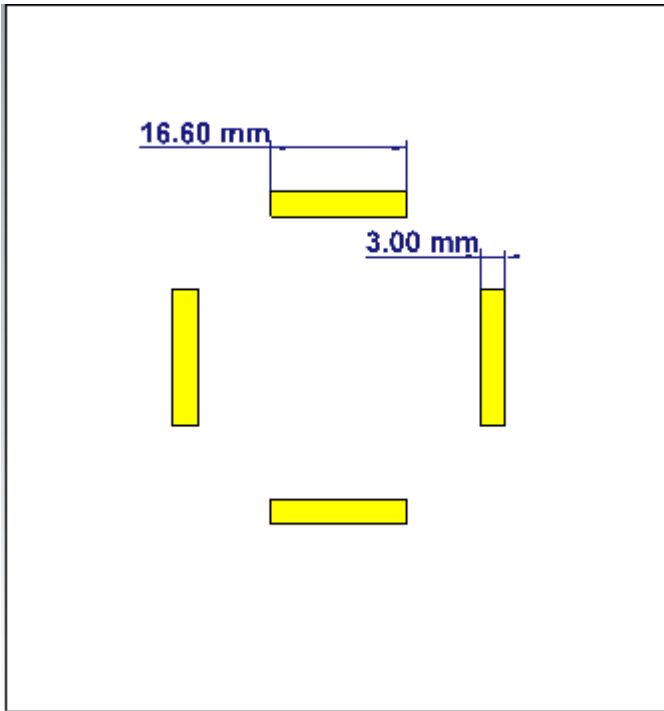
Parameter	Besaran (mm)
$L_a$	26
$P_a$	26
$W_c$	8
$P_f$	24,27
$L_f$	2

### 3.6 Optimasi Desain Elemen Tunggal Antena Stacked

Pada optimasi jenis antena jenis 2 dilakukan perubahan beberapa parameter-parameter agar berbeda dari paper. Perubahan yang pertama adalah penggunaan H-Slots sebagai pengganti Bowtie Slots. Kemudian untuk ukuran strip juga dilakukan penyesuaian.



Gambar 3. 37 *GroundPlane* Antena Stacked Modif

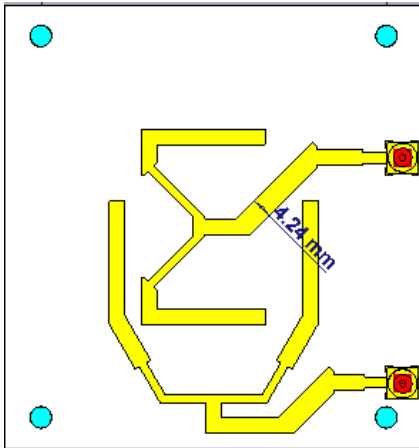


Gambar 3. 38 Strips *Plane* Antena Stacked

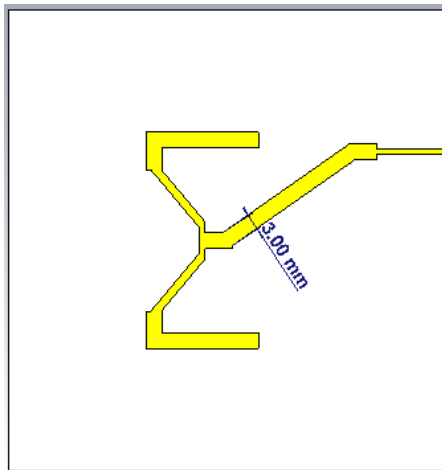
Pada perhitungan lebar *feeding* structure *Microstrip* dan strips agar tercapai lebar yang pas dengan impedansi input sekitar 50 ohm, perhitungan kali ini menggunakan tools macros yang ada pada CST. Sehingga didapatkan lebarnya sebesar 3 mm .

### 3.6.1 *Feeding* Structure Line Antena Stacked

Eksperimen pertama pada antenna jenis 2 adalah membuat *Feeding* Structure Line yang cocok dengan antenna. Pada antenna dengan teknik pencatu aperture coupling, diperlukan suatu teknik tinggi untuk membuat pencatu tersebut. Dikarenakan pada teknik pembuatan ini ada dua hal pokok yang harus diperhatikan, pembuatan antenna dan power divider.



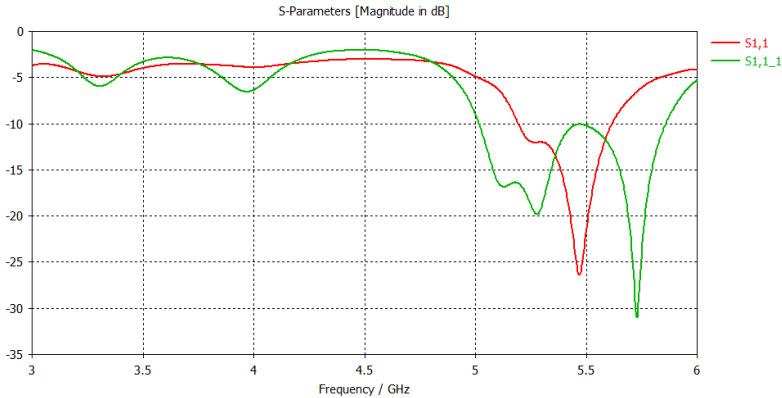
Gambar 3. 39 *Feeding Line A*



Gambar 3. 40 *Feeding Line B*

Perbedaan pada keduanya ada pada bagian lebar lekukan dan pencatunya tersebut. Pada power divider gambar lebarnya sebesar 4.24 mm sedang pada power divider gambar lebarnya sebesar 3 mm.

Efek dari perbedaan tersebut sangat besar terhadap *S-Parameter*. Dengan bentuk antenna yang sama dari patch, strips, dan juga slot groundPlane. Dari perbedaan structure *feeding* saja bisa membuat perubahan *S-Parameter* yang sangat significant.



Gambar 3. 41 Perbandingan *Return Loss* A dan B

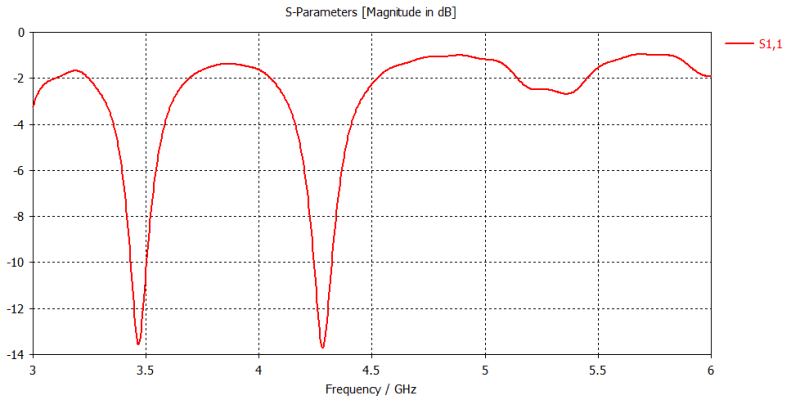
Pada frekuensi kerja antenna tersebut pada sekitar frekuensi 5 GHz. Garis warna merah merupakan grafik *S-Parameter* power divider gambar 3.38 , sedangkan pada garis warna hijau merupakan gambar 3.39. Terdapat perbedaan cekungan yang terjadi pada garis merah. Pada garis tersebut terdapat kesamaan trend yaitu terdapatnya garis terjal pada frekuensi 5.2 GHz. Namun untuk band yang terbesar ada pada power divider garis hijau.

### 3.6.2 Perubahan Posisi Pencatu Antena Stacked

Setelah dipilih jenis *feeding* structure untuk pencatu antenna jenis 2. Selanjutnya adalah eksperimen mengetahui bagaimana efek perubahan letak probe *feeding* pada *Microstrip feeding* line.

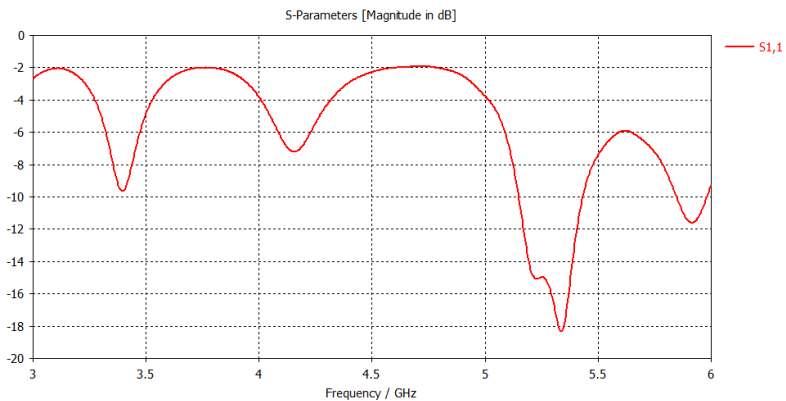
Percobaan pertama adalah dengan penggeseran *feeding* line sebesar 6.5 cm dari tepi substrat terdekat. Pada percobaan tersebut nilai VSWR untuk *feeding* tersebut tidak beraturan. Sehingga mengakibatkan nilai *S-Parameter* utamanya S-11 juga tidak beraturan.





Gambar 3. 42 *Return Loss* Pencatu 6.5 mm

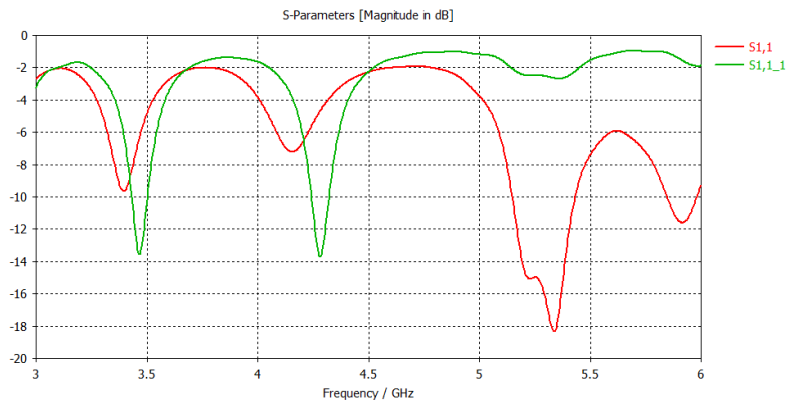
Sedangkan eksperimen selanjutnya dengan mengubah jarak *feeding*nya menjadi 4 cm dari substrat terdekat. Hasilnya adalah sebagai berikut



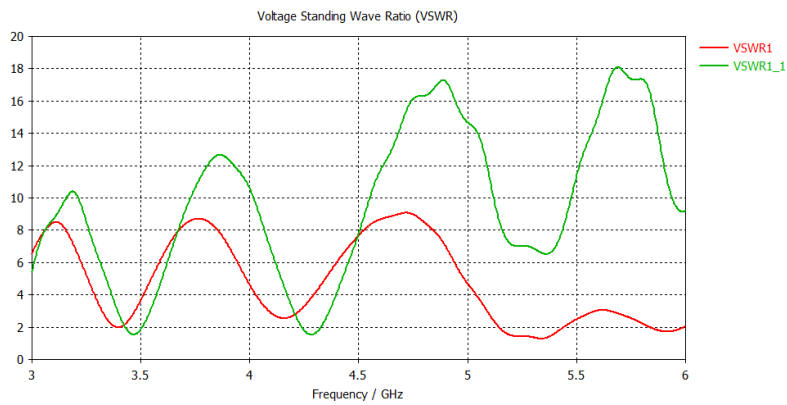
Gambar 3. 43 *Return Loss* Pencatu 4 mm

Tampak dari data dua gambar diatas gambar 3.41 dan 3.42 terdapat perbedaan pada frekuensi kerja 5,4 GHz. Pada frekuensi tersebut, *S-Parameter* antenna saat *feeding* belum digeser memiliki VSWR yang

tinggi. Sedangkan setelah adanya penggeseran terdapat parameter antenna yang memenuhi kinerja antenna untuk disebut baik.



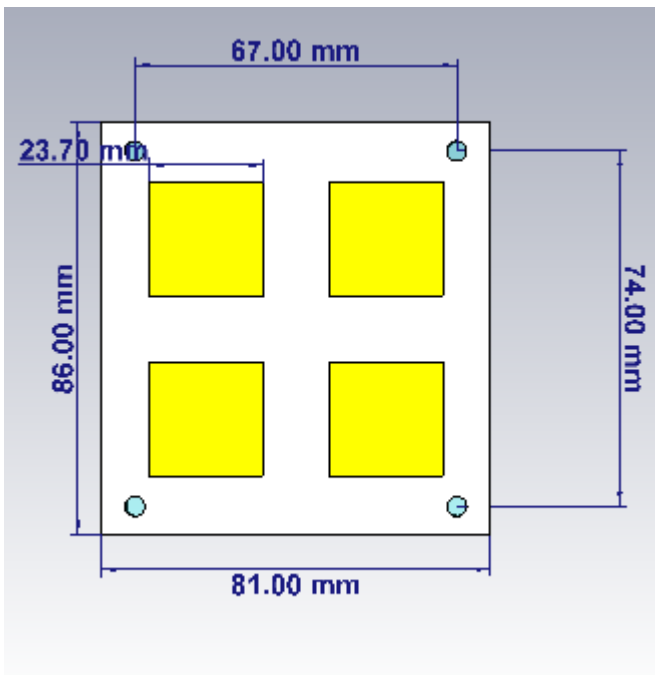
Gambar 3. 44 Perbandingan Pencatu 6.5 mm dan 4 mm



Gambar 3. 45 Perbandingan VSWR Pencatu 6.5 mm dan 4 mm

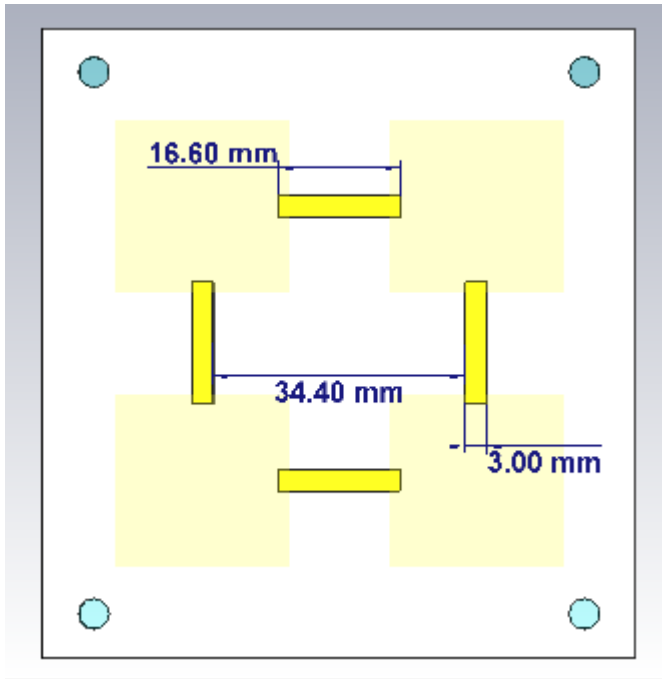
### 3.6.3 Antena Single Terpilih jenis Antena Stacked

Setelah melihat hasil pertimbangan berbagai antena, maka antena single untuk jenis antena stacked yang terpenuhi adalah sebagaimana berikut. Antena jenis 2 merupakan antena stacked, sehingga untuk penggambaran kami jelaskan per lapisan *substrate*. Pada Lapisan *substrate* pertama terdiri dari empat buah patch antena dengan lebar 23,7 mm, kemudian jarak antar elemen antena tersebut sebesar 13,7 mm. Nilai *substrate* yang digunakan adalah FR-4 dengan luasan 86,00 mm x 81,00 mm.



Gambar 3. 46 Tampilan Depan Antena Stacked

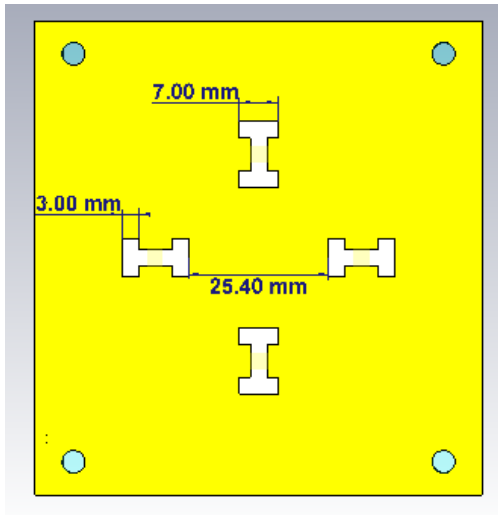
Selanjutnya pada lapisan *substrate* kedua terdapat beberapa komponen strips. Strips disini berfungsi sebagai pencatu *coupler* untuk patch pada lapisan pertama. Lebar nilai strips sebesar 3 mm didapatkan dari perhitungan agar tercapai impedansi matching dengan lapisan patch.



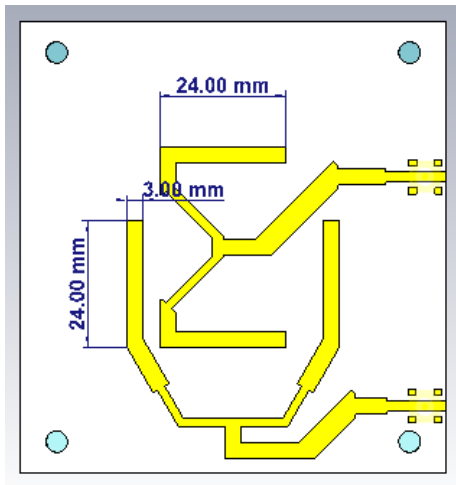
Gambar 3. 47 Tampilan Strips *Plane Antenna Stacked*

Lapisan terakhir yaitu lapisan *substrate* ketiga. Lapisan ini merupakan lapisan paling kompleks diantara lapisan-lapisan *substrate* sebelumnya. Pada lapisan ini terdapat *GroundPlane* yang dibuat dengan beberapa slots H. Slots ini berfungsi sebagai waveguide untuk membimbing gelombang yang dicatu pada *feeding line structure*.

Struktur terumit kemudian adalah *feeding line structure*. Fungsi dari struktur tersebut adalah untuk membagi sumber input yang kemudian digunakan untuk pencatutan antenna. Struktur ini sangat sensitive pada saat mendesain. Hal ini dikarenakan perubahan sedikit pada struktur ini akan mengakibatkan perubahan parameter VSWR ataupun *S-Parameter* sebagaimana yang dibahas pada subbab 3.6.1 *Feeding Structure Line*.



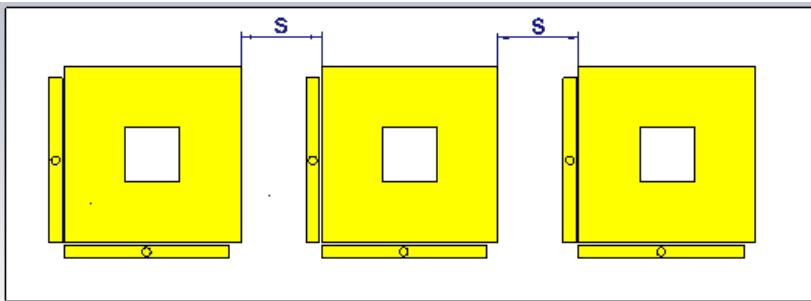
Gambar 3. 48 Tampilan *Ground Plane* Antena Stacked



Gambar 3. 49 *Feeding Structure* Antena Stacked

### 3.7 Penyusunan Antena *Slot Rectangular* Secara Array

Pada subbab kali ini akan dibahas mengenai proses penyusunan array antena *slot rectangular Microstrip* dari elemen yang telah dioptimasi pada subbab sebelumnya. Pada subbab kali ini akan coba membuat antena array dengan aturan array linier 1x3. Ukuran elemen dibuat identik dengan elemen lainnya. Hal lainnya adalah antar elemen dipisahkan oleh sebuah substrat FR-4 dengan jarak tertentu (S). Pencatutan menggunakan *self excitation* dimana ke semua antena dicatu oleh satu port yang independen. Bentuk antena array bisa dilihat pada gambar berikut



Gambar 3. 50 Skema Penyusunan Antena Array Linier

#### 3.7.1 Pengaruh Jarak antar Elemen

Dalam penyusunan sebuah elemen antena membentuk sebuah komponen utuh elemen array akan mengakibatkan karakteristik elemen tunggal antena juga berubah. Karakteristik tersebut seperti pola radiasi, mutual coupling, dan isolasi antena. Berdasarkan teori pola radiasi, jarak antar elemen hendaknya kurang dari panjang gelombang elektromagnetik di udara dikarenakan untuk menghindari munculnya grating lobe. Perhitungan jarak antar elemen (S) mengikuti persamaan dibawah ini

$$S = \frac{\lambda_g}{N} \quad (3.1)$$

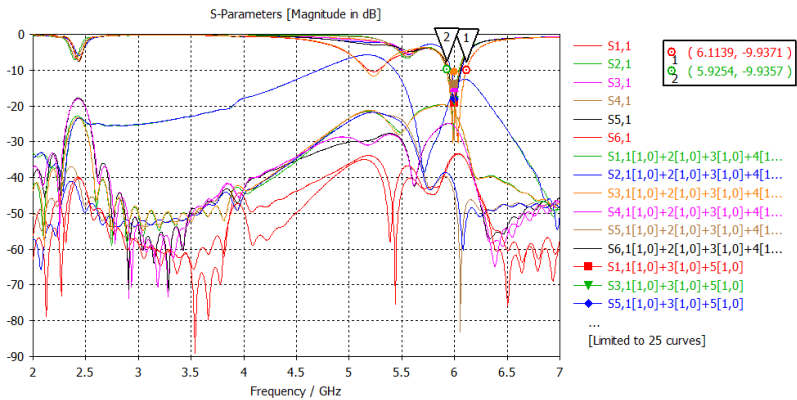
dimana N adalah bilangan bulat selain 1, dan

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2)$$

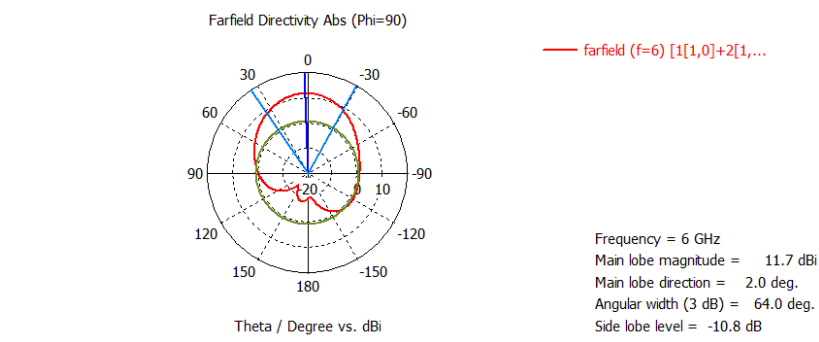
$\lambda_g$  adalah cepat rambat gelombang di *substrate*.

### 3.7.1.1 Array $\lambda_g/2$

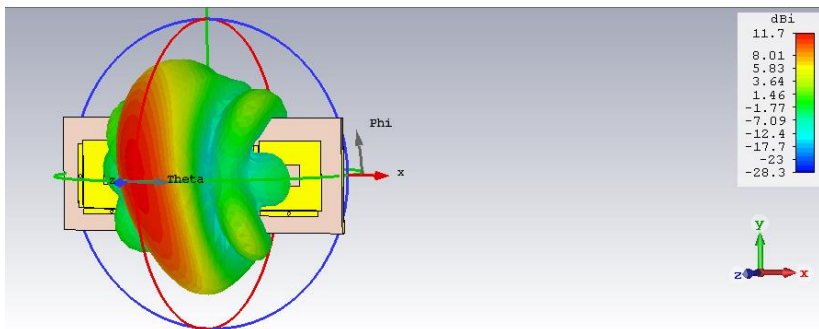
Pada pembuatan array dengan jarak  $\lambda_g/2$ . Bisa dilihat hasil *S-Parameter* pada gambar 3.50. Dari gambar didapatkan informasi , antenna tersebut memiliki band sebesar 188,5 MHz. Pada antenna ini juga ada parameter S(1,2) dan S(4,3) yang berindikasi menyebabkan antenna memiliki mutual coupling



Gambar 3. 51 *S-Parameters* Antena Lambda/2



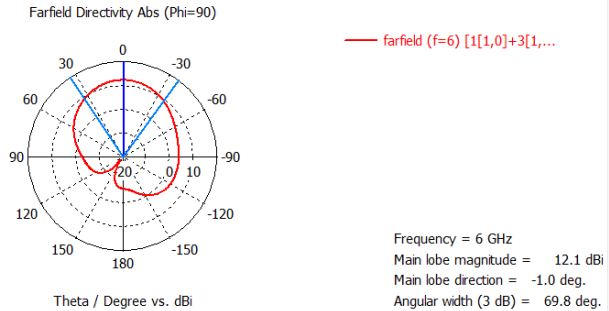
Gambar 3. 52 E-Plane Antena Lambda/2



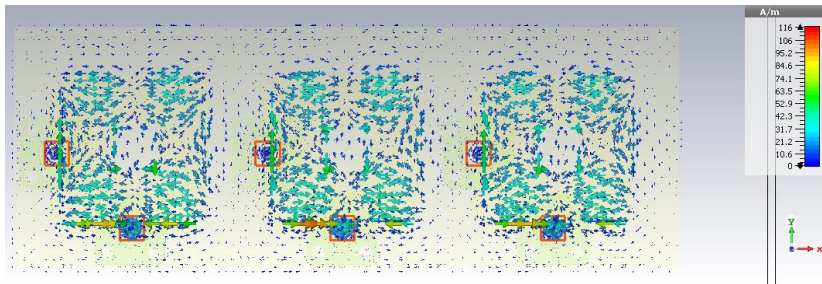
Gambar 3. 53 Farfield Antena Lambda/2

Pola Farfield pada ( $\phi=90^\circ$ ) ditunjukkan gambar 3.51 pada frekuensi kerja 6 GHz memiliki nilai *main lobe* sebesar 11,7 dBi dengan arah *main lobe direction* pada  $2,0^\circ$ . Sedangkan nilai *HPBW* cukup lebar dengan nilai sebesar  $64,0^\circ$ .



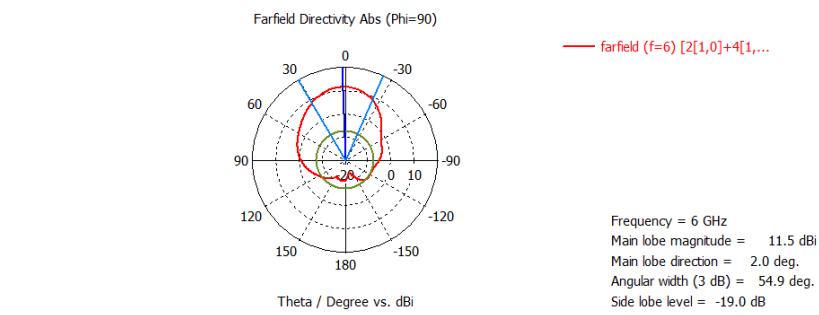


Gambar 3. 54 E-Plane Combine port vertikal

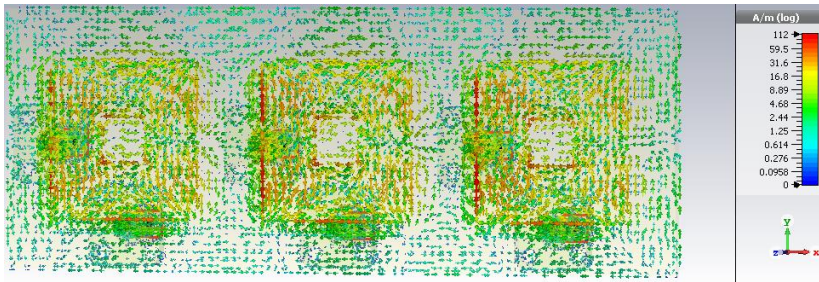


Gambar 3. 55 Surface Current Polarisasi Vertikal

Pada gambar 3.53 diperlihatkan secara visual tentang pola radiasi dengan port [1],[3], dan[5]. Atau port pada antenna bawah dengan polarisasi antenna vertikal. Pada pencatutan ini didapat data secara simulasi dengan *main lobe* magnitudo sebesar 12.1 dBi dengan *HPBW* sebesar 69.8 derajat. Pada gambar 3.54, diperlihatkan secara visual surface current dari ke semua port tersebut.Bisa dilihat bahwa pada patch antenna dibagian tepi kanan kiri ada aliran arus.



Gambar 3. 56 Antena *Combine* Port Horizontal

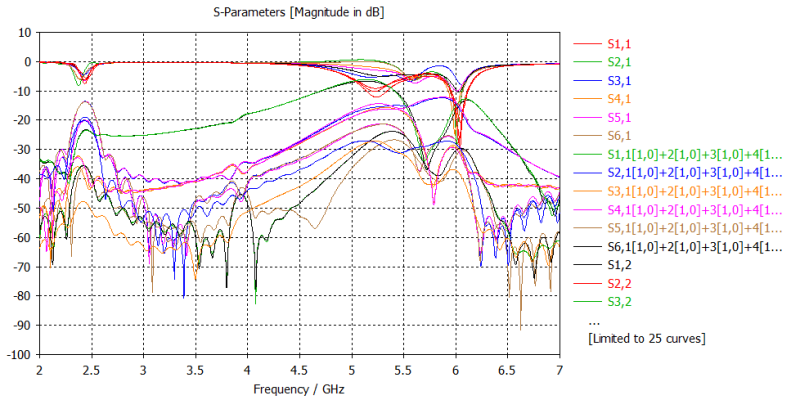


Gambar 3. 57 Surface Current Port Horizontal

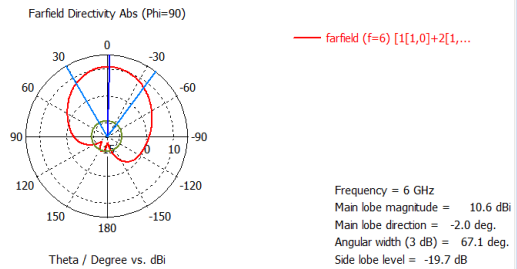
Pada gambar 3.55 diperlihatkan secara visual tentang pola radiasi dengan port [2],[4], dan[6]. Atau port pada antenna sampling dengan polarisasi antenna horizontal. Pada pencatutan ini didapat data secara simulasi dengan *main lobe* magnitudo sebesar 11.5 dBi dengan *HPBW* sebesar 54.9 derajat. Pada gambar 3.56, diperlihatkan secara visual surface current dari ke semua port tersebut.Bisa dilihat bahwa pada patch antenna dibagian tepi atas-bawah ada aliran arus.

### 3.7.1.2 Array $\lambda_g/4$

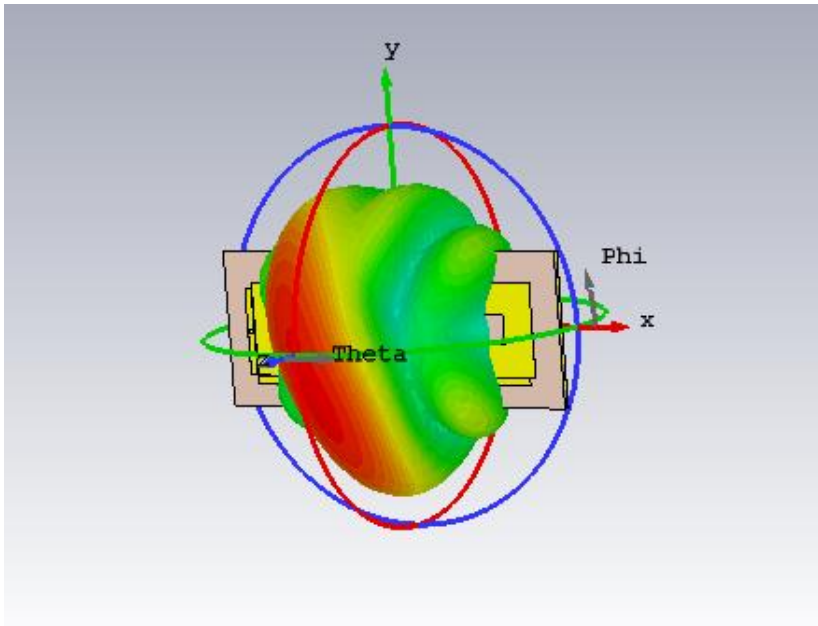
Pada pembuatan array dengan jarak  $\lambda_g/4$ . Bisa dilihat hasil *S-Parameter* pada gambar 3.57 . Dari gambar didapatkan informasi bahwa pada antenna ini juga ada parameter  $S(1,2)$ ,  $S(4,3)$ ,  $S(6,2)$ , dan  $S(4,2)$  yang berindikasi menyebabkan antenna memiliki mutual coupling



Gambar 3. 58 *S-Parameters* Antena Lambda/4

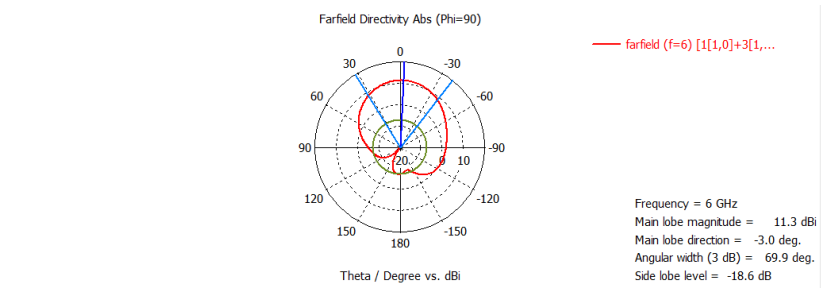


Gambar 3. 59 *E-Plane* Antena Lambda/4

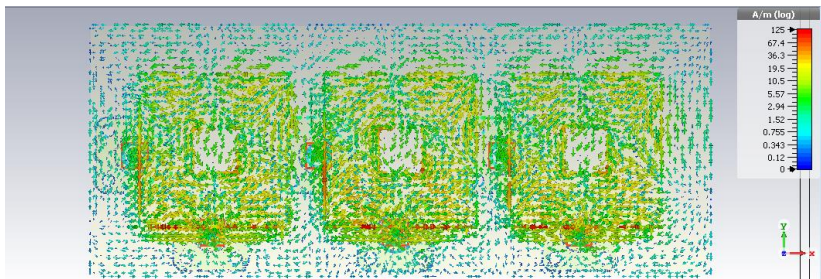


Gambar 3. 60 Farfield Antena Lambda/4

Pola Farfield pada ( $\phi=90^\circ$ ) pada frekuensi kerja 6 GHz ditunjukkan gambar 3.58. memiliki nilai *main lobe* sebesar 10.6 dBi dengan arah *main lobe* direction pada  $-2,0^\circ$ . Sedangkan nilai *HPBW* cukup lebar dengan nilai sebesar  $67,1^\circ$ . Antena ini juga memiliki side lobe sebesar -19,7 dB.

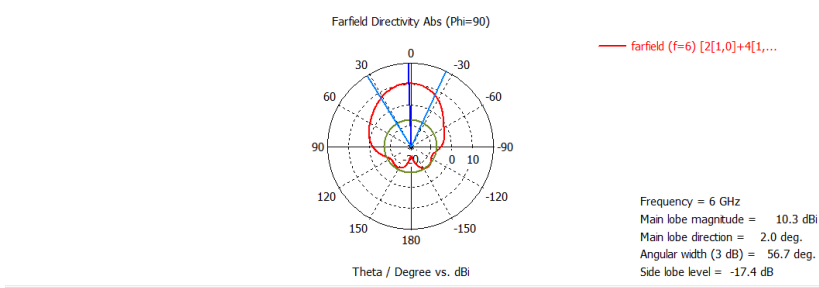


Gambar 3. 61 E-Plane Combine Port Vertikal

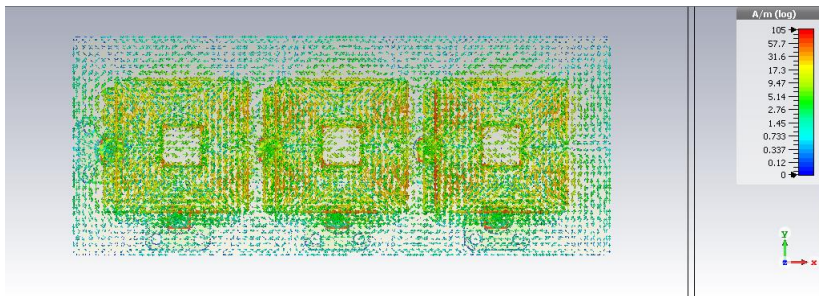


Gambar 3. 62 Surface Current Port Vertikal

Pada gambar 3.60 diperlihatkan secara visual tentang pola radiasi dengan port [1],[3], dan[5]. Atau port pada antenna bawah dengan polarisasi antenna vertikal. Pada pencatutan ini didapat data secara simulasi dengan *main lobe* magnitudo sebesar 11.3 dBi dengan *HPBW* sebesar 69.9 derajat. Pada grafik poar diatas juga didapat informasi bahwa antenna ini memiliki side lobe sebesar -18.6 dB. Pada gambar 3.61 , diperlihatkan secara visual surface current dari ke semua port tersebut. Bisa dilihat bahwa pada patch antenna dibagian tepi kanan kiri ada aliran arus (warna merah).



Gambar 3. 63 E-Plane Combine Port Horizontal



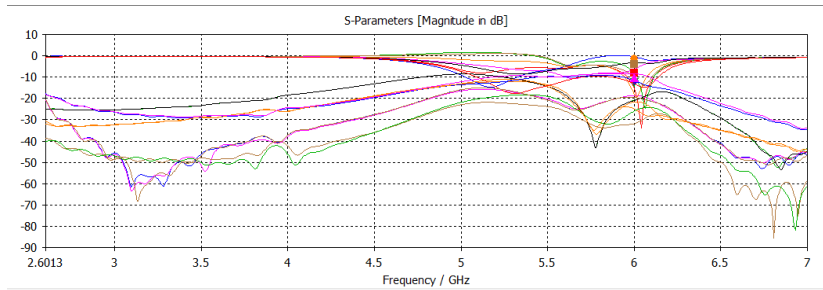
Gambar 3. 64 Surface Current Antena Combine Port Horizontal

Pada gambar 3.62 diperlihatkan secara visual tentang pola radiasi dengan port [2],[4], dan[6]. Atau port pada antenna samping dengan polarisasi antenna horizontal. Pada pencatutan ini didapat data secara simulasi dengan *main lobe* magnitudo sebesar 10.3 dBi dengan *HPBW* sebesar 56.7 derajat. Pada gambar 3.63, diperlihatkan secara visual surface current dari ke semua port tersebut.Bisa dilihat bahwa pada patch antenna dibagian tepi atas-bawah ada aliran arus.

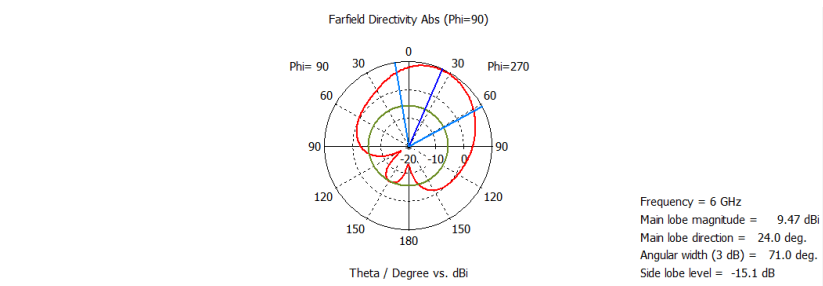
### 3.7.1.3 Array $\lambda_g/8$

Pada pembuatan array dengan jarak  $\lambda_g/8$ . Bisa dilihat hasil *S-Parameter* pada gambar 3.64. Dari gambar didapatkan informasi bahwa pada antenna ini juga ada parameter  $S(1,2), S(2,1), S(3,1), S(3,2), S(4,2)$

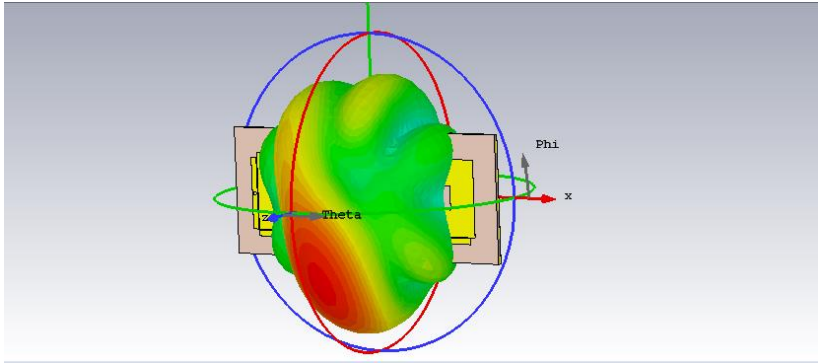
$S(5,1)$ ,  $S(5,2)$ , dan  $S(6,2)$  yang berindikasi menyebabkan antenna memiliki mutual coupling dikarenakan menginterferensi  $S$ -Parameter  $S_{11}$  terlalu tinggi.



Gambar 3. 65  $S$ -Parameters Lambda/8

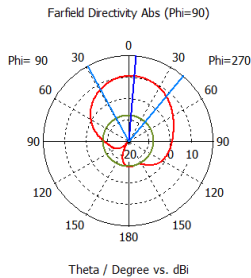


Gambar 3. 66  $E$ -Plane Antena Lambda/8



Gambar 3. 67 Farfield Antena Lambda/8

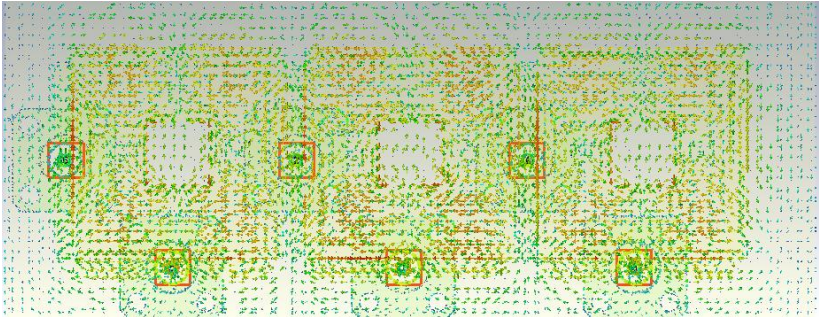
Pola Farfield pada ( $\phi=90^\circ$ ) pada frekuensi kerja 6 GHz ditunjukkan gambar 3.65 memiliki nilai *main lobe* sebesar 9.47 dBi dengan arah *main lobe* direction pada  $-24,0^\circ$ . Sedangkan nilai *HPBW* cukup lebar dengan nilai sebesar  $71,0^\circ$ . Antena ini juga memiliki side lobe sebesar -15,1 dB.



Frequency = 6 GHz  
Main lobe magnitude = 10.5 dBi  
Main lobe direction = 5.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 68.8 deg.  
Side lobe level = -18.3 dB

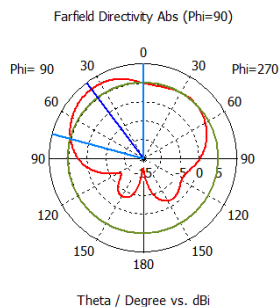
Gambar 3. 68 E-Plane Combine Port Vertical





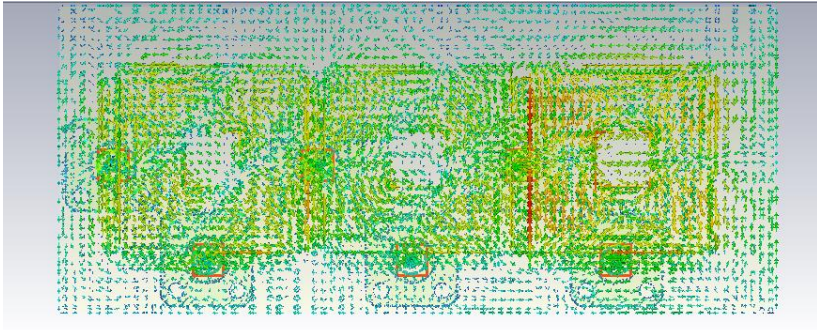
Gambar 3. 69 Surface Current *Combine Port Vertical*

Pada gambar 3.67 diperlihatkan secara visual tentang pola radiasi dengan port [1],[3], dan[5]. Atau port pada antenna bawah dengan polarisasi antenna vertikal. Pada pencatutan ini didapat data secara simulasi dengan *main lobe* magnitudo sebesar 10.5 dBi dengan *HPBW* sebesar 68.8 derajat. Pada grafik polar diatas juga didapat informasi bahwa antenna ini memiliki side lobe sebesar -18.3 dB. Pada gambar 3.68, diperlihatkan secara visual surface current dari ke semua port tersebut.Bisa dilihat bahwa pada patch antenna dibagian tepi kanan kiri ada aliran arus (warna merah).



Frequency = 6 GHz  
Main lobe magnitude = 7.88 dBi  
Main lobe direction = 37.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 75.4 deg.  
Side lobe level = -2.8 dB

Gambar 3. 70 E-Plane *Combine Port Horizontal*



Gambar 3. 71 Surface Current Port Horizontal

Pada gambar 3.69 diperlihatkan secara visual tentang pola radiasi dengan port [2],[4], dan[6]. Atau port pada antenna samping dengan polarisasi antenna horizontal. Pada pencatuan ini didapat data secara simulasi dengan *main lobe* magnitudo sebesar 7.88 dBi dengan *HPBW* sebesar 37.0 derajat. Pada gambar 3.70, diperlihatkan secara visual surface current dari ke semua port tersebut.Bisa dilihat bahwa pada patch antenna dibagian tepi atas-bawah ada aliran arus.

#### 3.7.1.4 Perbandingan Pengaruh jarak antar elemen

Pada pembahasan subbab diatas, dijelaskan mengenai peristiwa yang diakibatkan oleh sebuah elemen ketika dibuat menjadi array. Beberapa parameter yang diakibatkan peristiwa seperti Mutual Coupling, Halfpower Beamwidth, dan Gain diamati ketika antenna tersebut diarray.

Tabel 3. 9 Tabel Perbandingan Jarak Array

Jarak Array	Coupling (<-20 dB)	HPBW (deg)	Gain (dBi)	Side Lobe (dB)
$\lambda_g/2$	2 interferens	64.0	11.7	-10.8
$\lambda_g/4$	4 interferens	67.1	10.6	-19.7
$\lambda_g/8$	tinggi	71.0	9.47	-15.1

Setelah melihat perbandingan pada tabel 3.9, perbandingan gain ke semua jarak antar elemen tersebut tidak terlalu signifikan. Kemudian di sisi side lobe memiliki nilai terendah pada jarak antar array  $\lambda_g/4$  . Faktor side lobe dari sisi ke semua varian jarak space tidak terlalu signifikan, bila dibandingkan magnitudo jarak *main lobe* dan side lobe (bisa dilihat pada tabel 3.10).

Tabel 3. 10 Jarak Array dengan Spurious Lobe

Jarak Array	<i>Main lobe</i> (dBi)	Side Lobe (dB)	Selisih (dB)
$\lambda_g/2$	11.7	-10.8	22.5
$\lambda_g/4$	10.6	-19.7	30.3
$\lambda_g/8$	9.47	-15.1	24.57

Sehingga untuk jarak antenna array yang dipilih adalah  $\lambda_g/2$  karena berdasar pertimbangan-pertimbangan diatas.

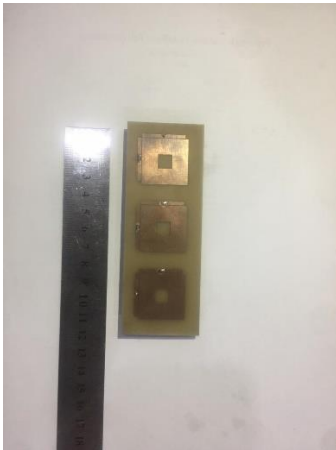
***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## **BAB 4**

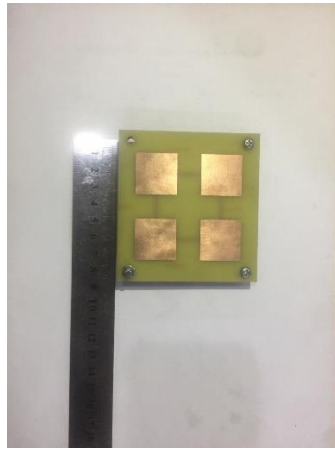
### **REALISASI DAN PENGUKURAN KERJA ANTENA**

Pengukuran antenna dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter performa yang dimiliki oleh antenna hasil desain. Adapun parameter-parameter antenna yang akan diukur adalah sebagai berikut *Scattering Parameter*, *VSWR*, Pola radiasi, Polarisasi, Gain, *Co-Polar* dan *Cross-Polar*. Selanjutnya hasil pengukuran parameter-parameter tersebut dibandingkan dengan simulisasi yang telah dilakukan.

Pengukuran antenna dilakukan di LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) Bandung, Jawa Barat. Alasan kita melakukan pengukuran di tempat tersebut dikarenakan LIPI mempunyai sebuah ruangan anechoic chamber dimana ruangan tersebut merupakan ruangan yang dirasa mendekati ideal untuk pengukuran antenna. Selanjutnya, perangkat-perangkat yang diperlukan untuk menunjang pengukuran adalah Vector Network Analyzer (VNA) , antenna horn.



(a)



(b)

Gambar 4. 1 Realisasi Antena *Slot Rectangular* (a) ; Realisasi Antena Stacked (b)

## 4.1 Pengukuran Antena Tunggal

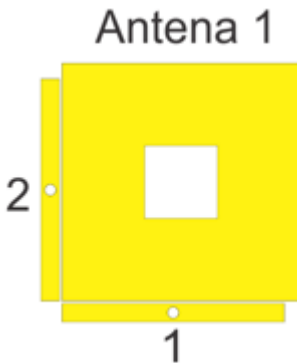
Pada subbab ini dijelaskan tentang hasil dari pengukuran antena tunggal. Ruang lingkup yang dibahas pada pengukuran kali ini adalah *S-Parameter*, Return Loss, Gain, dan Pola radiasi.

### 4.1.1 Pengukuran *S-Parameter*

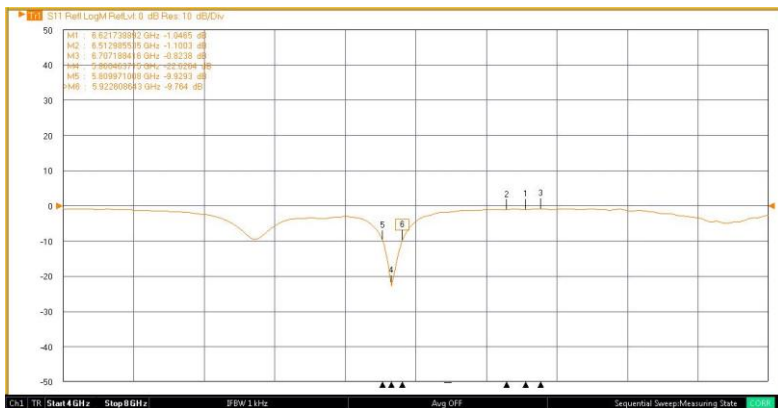
Pada subbab ini membahas hasil antena baik secara simulasi maupun pengukuran dalam lingkup *S-Parameters*. Penjabaran secara luas lingkup tersebut seperti Return Loss dan Mutual Coupling.

#### 4.1.1.1 Antena *Slot Rectangular*

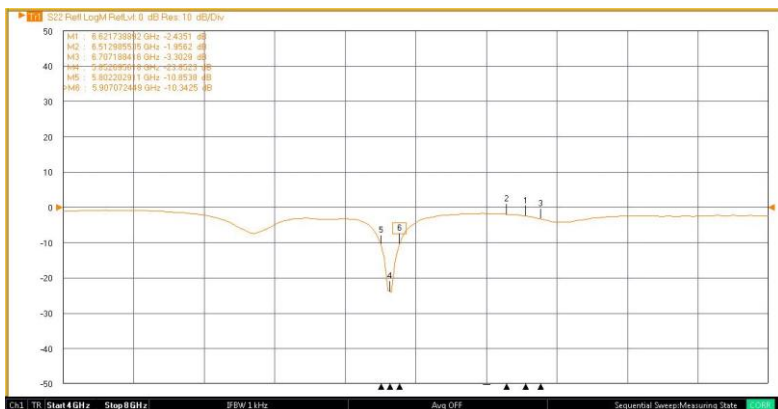
Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap *Antena Slot Rectangular*. Penampang antena yang diuji bisa dilihat pada gambar dibawah ini. Antena fabrikasi adalah sesuai perancangan pada simulasi pada subbab. Realiasi connector menggunakan SMA Flange Mount 4 Hole.



Hasil pengukuran yang didapat dari pengukuran antena *Slot Rectangular* diatas adalah sebagai berikut



Gambar 4. 2 S<sub>11</sub> Pengukuran Antena *Slot Rectangular*



Gambar 4. 3 S<sub>22</sub> Pengukuran Antena *Slot Rectangular*

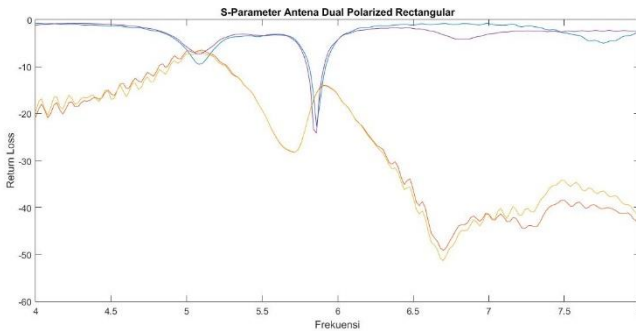
Pada bagian gambar atas merupakan *S-Parameter* pada antenna single polarisasi vertikal. Pada bagian tersebut memiliki peak return loss sebesar -22.0204 dB pada frekuensi 5.85 GHz. Sedangkan nilai Bandwidth sebesar 102 MHz.

Pada gambar atas yang kedua merupakan *S-Parameter* pada antenna single polarisasi horizontal. Pada bagian tersebut memiliki peak

return loss sebesar -23.8523 dB pada frekuensi 5.85 GHz. Sedangkan nilai bandwidth sebesar 100 MHz.

Pengukuran ini dilakukan menggunakan alat yang telah dikalibrasi pada rentang 4 – 8 GHz. Pada sumbu kartesian sumbu X mewakili frekuensi sedangkan sumbu Y mewakili nilai return loss.

Antena ini memiliki nilai frekuensi tengah yang menggeser dari frekuensi simulasi. Pada frekuensi simulasi frekuensi tengah terletak pada nilai 6 GHz. Sedangkan pada pengukuran frekuensi tengah terpadat pada frekuensi 5.85 GHz. Penggeseran nilai frekuensi karena terdapat perbedaan kualitas bahan *substrate* antara pabrikan dengan bahan yang disimulasikan. Bahan FR-4 yang tersimpan cukup lama akan berakibat menurunnya kualitasnya.



Gambar 4. 4 *S-Parameter Antena Slot Rectangular*





Gambar 4. 5 Pengukuran Impedansi Antena *Slot Rectangular* Port 1

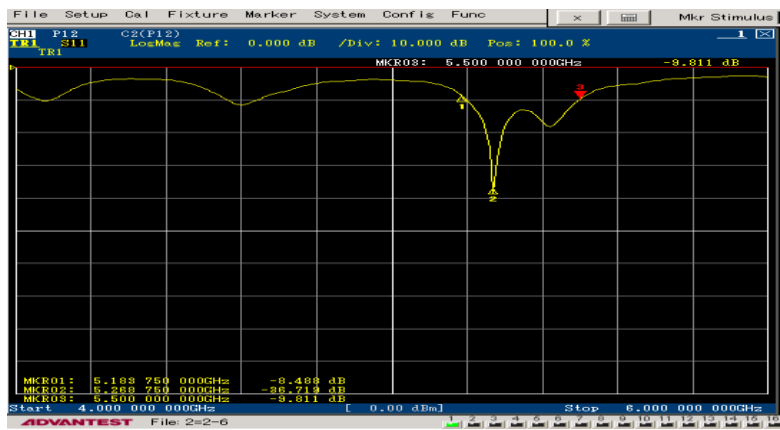


Gambar 4. 6 Pengukuran Impedansi *Slot Rectangular* Port 2

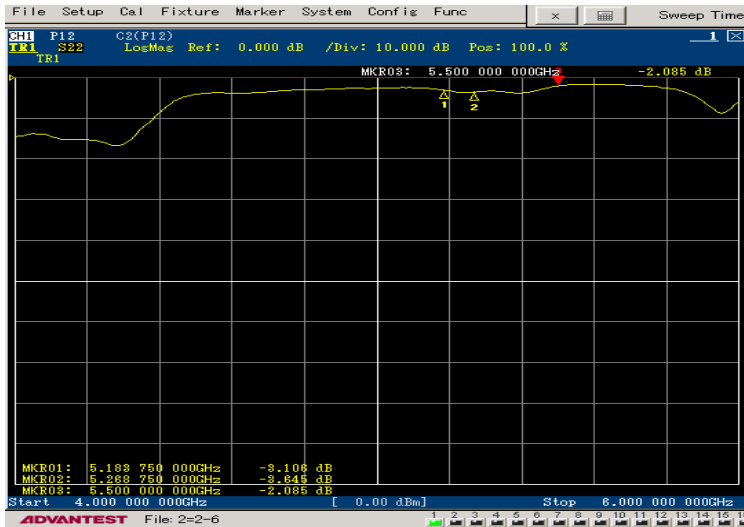
4.2.1.2 Antena Stacked

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap antena Stacked Dual Polarization. Penampang antena yang diuji bisa dilihat pada gambar dibawah ini. Antena fabrikasi adalah sesuai perancangan pada simulasi pada subbab. Realiasi connector menggunakan SMA Edge Mount Connector.

Hasil pengukuran yang didapat dari pengukuran antena diatas adalah sebagai berikut gambar 4.5 dan 4.6



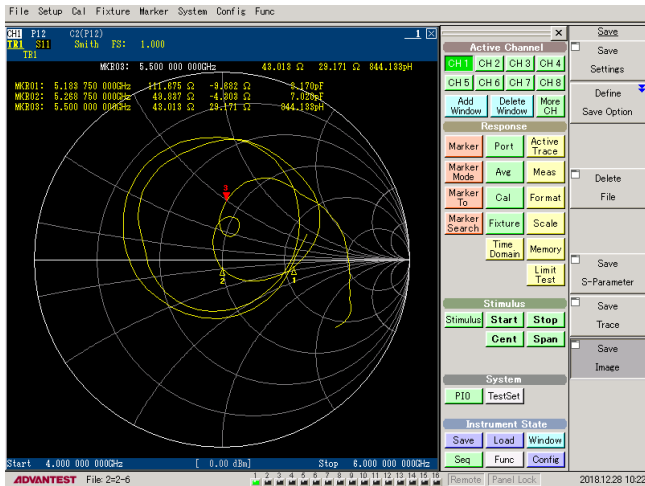
Gambar 4. 7  $S_{11}$  Antena Stacked Pengukuran port 1



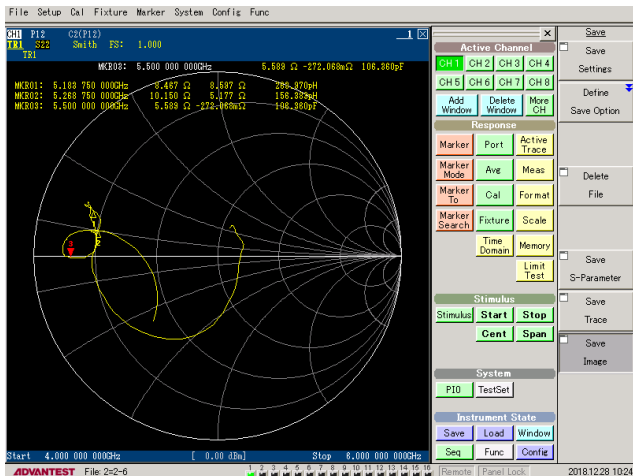
Gambar 4. 8  $S_{22}$  Antena Stacked Pengukuran port 2

Pada bagian gambar 4.5 merupakan *S-Parameter* pada antenna single polarisasi vertikal. Pada bagian tersebut memiliki bagian lembah dibawah -10 dB dari frekuensi 5.183 – 5.5 GHz. Artinya antenna ini memiliki bandwidth sebesar 317 MHz. Namun, hasil data dari antenna ini berbeda dari yang semestinya dilakukan dalam simulasi. Terdapat pergeseran menjauhi dari frekuensi 5,5 GHz. Hal ini terjadi karena pengaruh substrat.

Pada bagian gambar 4.6 merupakan *S-Parameter* pada antenna single polarisasi horizontal. Dari gambar diatas tidak terjadi pola pembentukan return loss yang memenuhi kriteria. Hal ini dikarenakan dalam proses pemasangan SMA Edge Mount Connector. Pada pemasangan connector tersebut memiliki tingkat kesulitan yang kompleks. Sehingga hal ini menjadi penyebab mengapa konektor antenna pada polarisasi vertikal dan horizontal tidak bisa memiliki kualitas yang sama. Hal ini dibuktikan dengan nilai hambatan pada port polarisasi vertikal yang memiliki nilai hambatan dibawah 1 ohm sedangkan pada port polarisasi horizontal memiliki nilai hambatan sebesar 13.6 ohm. Gambar impedansi dalam smith chart bisa dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4. 9 Smith Chart Antena Stacked Port 1



Gambar 4. 10 Smirt Chart Antena Stacked Port 2

#### 4.1.2 Pengukuran Gain

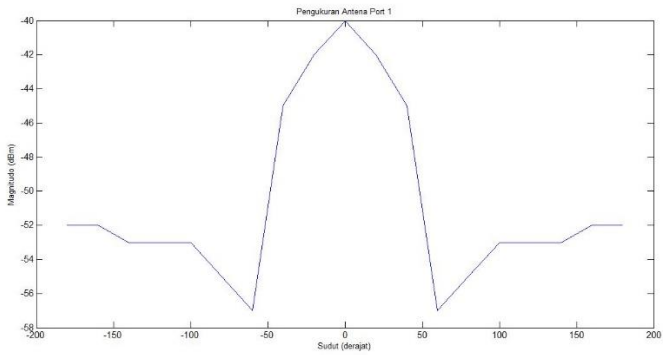
Dalam pengukuran gain mempunyai langkah-langkah yang berbeda daripada pengukuran-pengukuran sebelumnya. Pada pengukuran gain adalah pengukuran yang bersifat indirect. Pengertian ini mempunyai arti bahwa dalam pengukuran ini tidak serta merta hasil pembacaan dari alat ukur adalah hasil dari gain tersebut. Namun, pada pengukuran ini harus ada pengolahan hasil pembacaan alat ukur dengan persamaan berikut

$$\text{Gain Dicari} = \text{Antena}_{\text{0 derajat}} - \text{Lvl Antena Referensi} \\ + \text{Gain Antena Referensi}$$

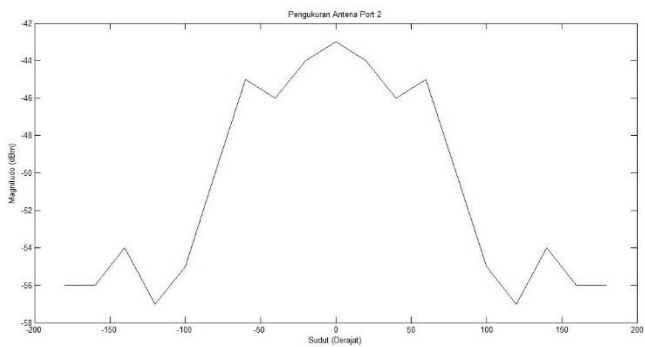
Namun dikarenakan terbatasnya waktu saat pengukuran di LIPI, Bandung, Jawa Barat dan juga kurangnya power divider untuk pengukuran antenna . Maka pengukuran untuk bagian ini tidak dicantumkan di subbab ini.

#### 4.1.3 Pengukuran Pola Radiasi

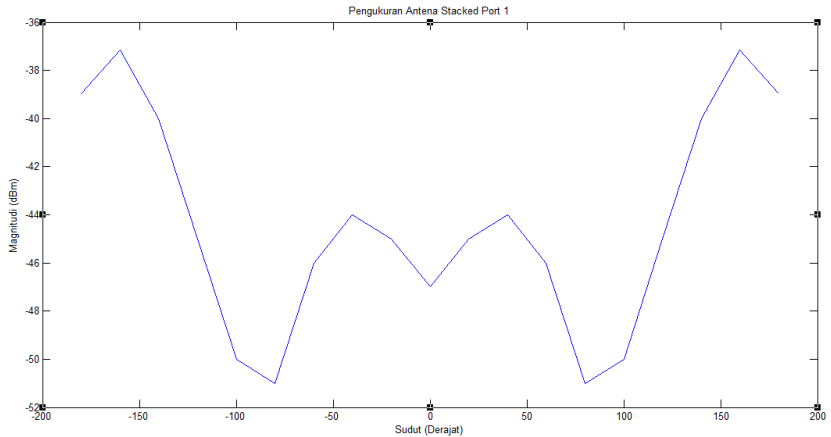
Pada subbab ini tidak dijelaskan bagaimana pengukuran pola radiasi pada subbab kali ini dikarenakan terbatasnya waktu saat pengukuran di LIPI, Bandung, Jawa Barat dan juga kurangnya power divider untuk pengukuran antenna . Maka pengukuran untuk bagian ini tidak dicantumkan di subbab ini. Sehingga data yang ada kurang akurat. Pada gambar 4.12 dan gambar 4.13 menjelaskan pola radiasi antenna *Slot Rectangular* pada elemen single. Tampak tidak ada spurious lobe yang mengganggu dari antenna ini. Namun hal ini berbanding terbalik dengan antenna stacked, antenna stacked mempunyai spurious lobe yang tinggi seperti pada gambar 4.14, sehingga antenna ini perlu dikembangkan lebih lanjut terkait pengurangan spurious lobenya.



Gambar 4. 11 Pengukuran Port 1 Antena *Slot Rectangular*



Gambar 4. 12 Pengukuran Port 2 Antena *Slot Rectangular*



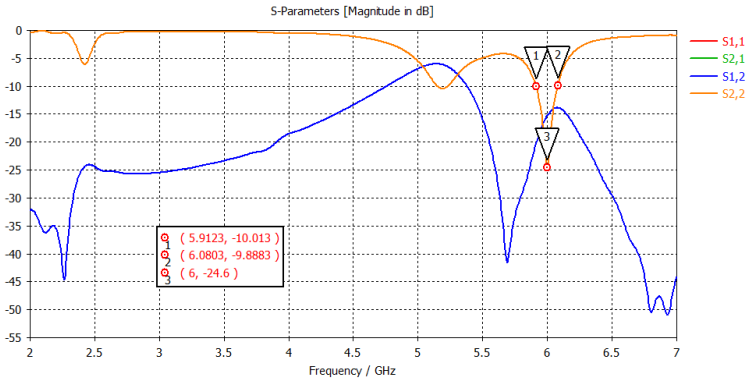
Gambar 4. 13 Pengukuran Pola Radiasi Antena Stacked

## 4.2 Analisa Antena Elemen Tunggal

### 4.2.1 Antena *Slot Rectangular*

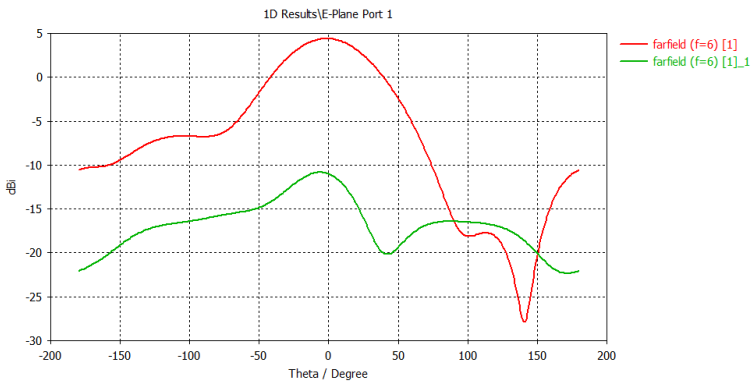
Antena *Slot Rectangular* merupakan antena yang memiliki dual polarisasi. Antena ini memiliki kriteria seperti yang ada pada subbab 3.5.4. Pada subbab ini akan dilihat kriteria indicator kinerja antena yang meliputi *S-Parameter*, Analisa *Co-Polar Cross-Polar*, dan Analisa visual *mutual coupling*.

Pada analisa antena tunggal rectangular *Dual polarized S-Parameternya* mempunyai frekuensi tengah pada 6 GHz dengan besar bandwidth 100 MHz. Return loss antara antena pencatu Horizontal dengan vertikal memiliki pola yang identik diantara keduanya. Sehingga nilainya tumpang tindih.



Gambar 4. 14 *S-Parameter* Simulasi

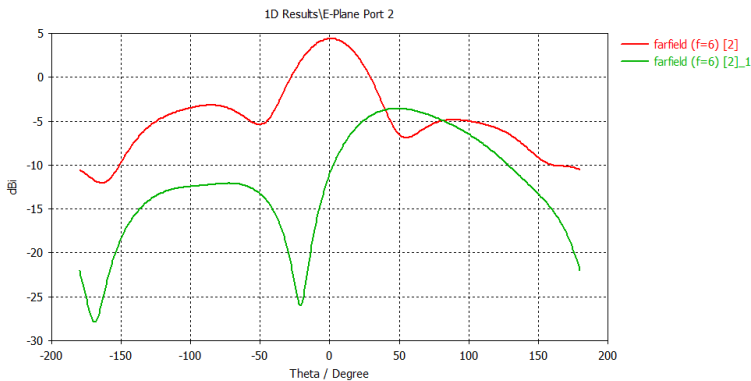
Selanjutnya untuk mengidentifikasi apakah antenna tersebut memiliki dual polarisasi adalah dengan mengecek pada bagian *Co-Polar* dan *Cross-Polar* tiap portnya. Pada gambar 4.10 menampilkan hasil *Co-Polar* dibandingkan *Cross-Polar* pada bidang *E-Plane* port 1. Dari gambar bisa dilihat nilai *Co-Polar* memiliki magnitudo sebesar 5 dB. Sedangkan komponen *Cross-Polar*nya nilai maksimalnya hanya mencapai dibawah -10 dB. Hal ini berarti Pada port tersebut tidak terjadi interferensi antara *Co-Polar* dan *Cross-Polar*.



Gambar 4. 15 *Co-Polar* dan *Cross-Polar* Bidang E port 1



Kemudian untuk identifikasi nilai *Co-Polar* dan *Cross-Polar* bidang E-Plane pada port 2. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 4.11 berikut. Pada port ini, nilai magnitudo *Co-Polar* mencapai 5 dB sedangkan nilai *Cross-Polar*nya mencapai -3 dB. Hal ini mengakibatkan adanya interferensi antara *Co-Polar* dan *Cross-Polar* pada sudut 50. Sehingga pada sudut antenna tersebut kemungkinan ada gangguan pada penerima.



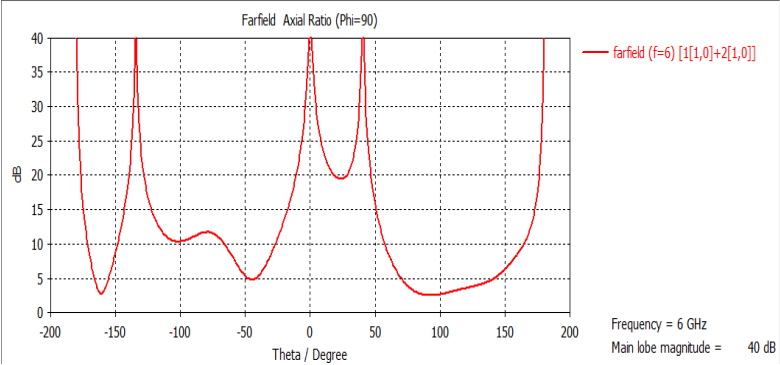
Gambar 4. 16 *Co-Polar* dan *Cross- Polar* bidang E port 2

Pada gambar adalah bentuk plot farfield 3D antenna ini. Pada antenna ini memiliki nilai *main lobe* magnitude sebesar 4.22 dBi. Nilai *HPBW*nya sebesar 59.9 derajat. Untuk nilai tersebut masih dalam kriteria antenna pada BTS.

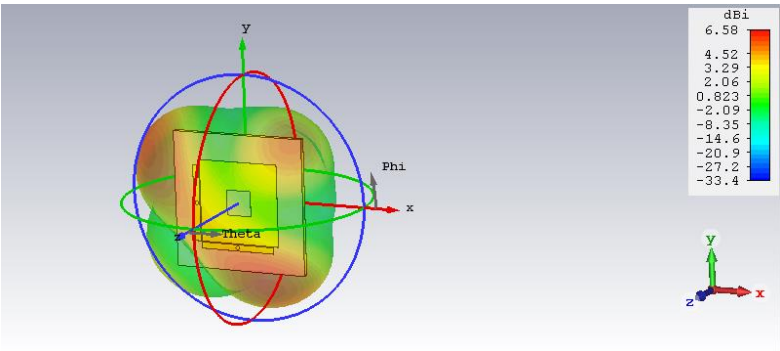
Adapun nilai keseluruhan untuk melihat polarisasi pada antenna adalah menggunakan nilai axial ratio. Klasifikasi nilai *axial ratio* pada bisa dilihat pada tabel. Pada antenna ini memiliki nilai axial ratio dari sudut -60 derajat – 60 derajat memiliki kriteria polarisasi linier. Namun pada sudut -50 dan 50 derajat keatas memiliki trend polarisasi elips.

Tabel 4. 1 Nilai Axial Ratio pada CST

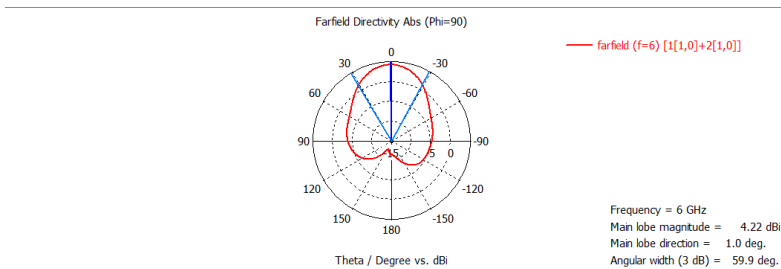
Nilai Axial Ratio	Keterangan
0 – 3 dB	Circular Polarization
4 – 10 dB	Elips Polarization
> 10 dB	Linier Polarization



Gambar 4. 17 Axial Ratio Antena Array

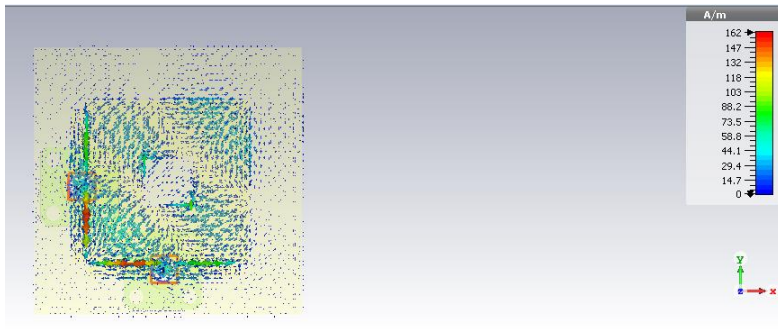


Gambar 4. 18 Farfield 3D



Gambar 4. 19 Farfield Polar

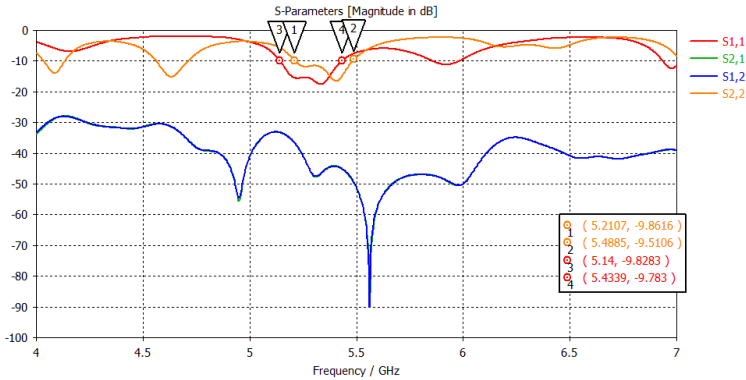
Dalam *S-Parameter* gambar 4.9 antenna ini memiliki nilai mutual coupling yang cukup buruk. Baik nilai  $S_{12}$  ataupun  $S_{21}$  nilainya menginterferensi nilai return loss kedua antenna diluar batas kewajaran hingga melebihi batas aman sebesar -20 dB. Secara visualisasi bisa dilihat pada gambar 4.15. Warna merah menunjukkan intensitas energi yang besar baik pada port 1 ataupun port 2.



Gambar 4. 20 Surface Current pada Antena

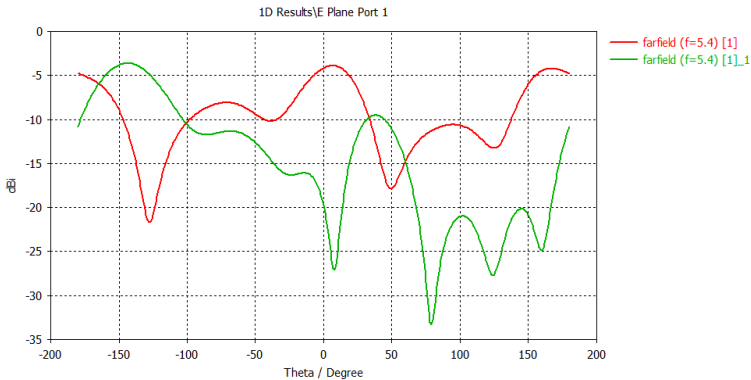
#### 4.2.2 Antena Stacked

Antena *Stacked* merupakan antenna yang memiliki dual polarisasi. Antena ini memiliki kriteria seperti yang ada pada subbab 3.6.3. Pada subbab ini akan dilihat kriteria indicator kinerja antenna yang meliputi *S-Parameter*, Analisa *Co-Polar Cross-Polar*, dan Analisa visual *mutual coupling*.



Gambar 4. 21 *S-Parameter* Simulasi Antena Stacked

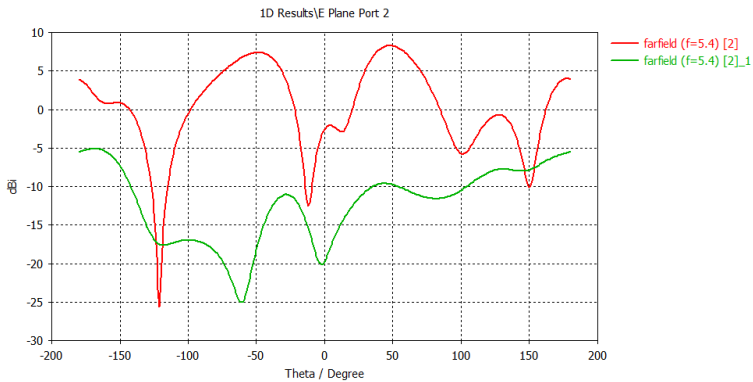
Gambar 4.16 menjelaskan *S-Parameter* pada antenna tersebut. Pembentukan *S-Parameter* ini dipengaruhi oleh *feeding* structure linanya. Perubahan nilai lebar *feeding* akan mempengaruhi *S-Parameter* tersebut. Penjelasan lebih rinci bisa dilihat pada subbab. 3.6.2. Pada antenna stacked ini memiliki isolasi terhadap mutual coupling sangat baik . Baik  $S_{12}$  maupun  $S_{21}$  memiliki nilai isolasi dibawah -30 dB.



Gambar 4. 22 *Co-Polar* dan *Cross-Polar* port 1

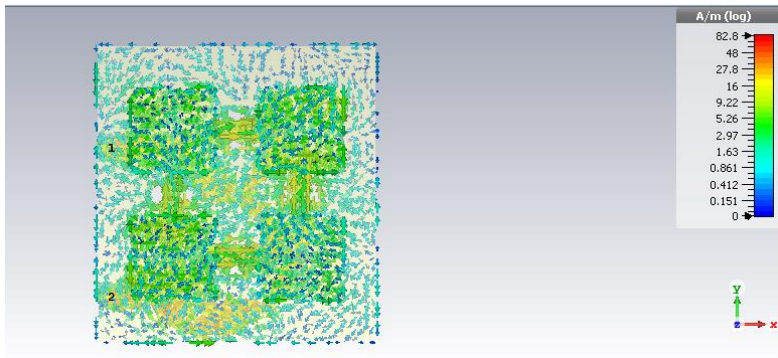
Pada gambar 4.17 menampilkan hasil *Co-Polar* dibandingkan *Cross-Polar* pada bidang *E-Plane* port 1. Dari gambar bisa dilihat nilai *Co-Polar* memiliki magnitudo kurang dari 0 dB. Sedangkan komponen *Cross-Polar*nya nilai maksimalnya hanya mencapai dibawah -10 dB. Hal ini berarti Pada port tersebut terjadi interferensi pada sudut 50 derajat. Rendahnya nilai magnitude pada port ini dikarenakan proses mendesain *feeding structure*.

Sedangkan pada port 2 nilai *Co-Polar* dan *Cross-Polar* pada bidang *E-Plane* memiliki nilai hingga 8 dB pada *Co-Polar*. Sedangkan nilai *Cross-Polar* memiliki nilai maksimal kurang dari -10 dB.

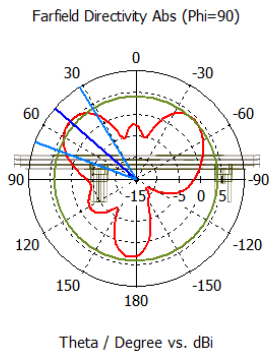


Gambar 4. 23 *Co-Polar* dan *Cross-Polar* Port 2

Untuk nilai polarisasi pada antenna desain ini memiliki polarisasi linier. Hasil tersebut dilihat dari pengamatan pada data axial ratio dari hasil *Combine* kedua port tersebut. Gambar tersebut bisa dilihat pada gambar 4.18. Untuk nilai mutual coupling yang rendah bisa dibuktikan dengan hasil pengamatan secara visual pada gambar 4.19. Pada gambar tersebut terlihat tidak ada intensitas tinggi energi yang signifikan yang mengganggu antenna sebelahny.



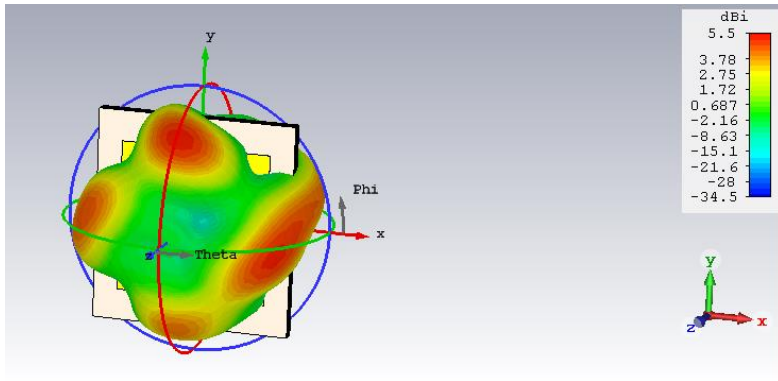
Gambar 4. 24 Surface Current Antena Stacked



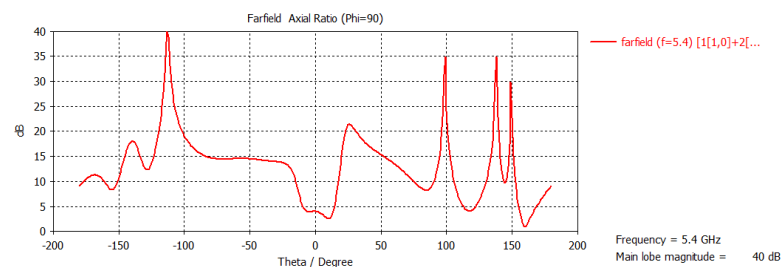
— farfield (f=5.4) [1[1,0]+2[...

Frequency = 5.4 GHz  
Main lobe magnitude = 5.26 dBi  
Main lobe direction = 49.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 38.2 deg.  
Side lobe level = -1.2 dB

Gambar 4. 25 Farfield Polar Antena Stacked



Gambar 4. 26 Farfield 3D Antena Stacked

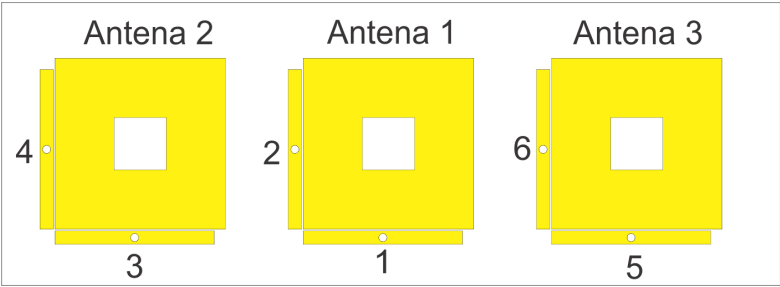


Gambar 4. 27 Axial Ratio Antena Stacked

### 4.3 Analisa Antena Slot Rectangular Array 1x3

Pada subbab ini menjelaskan antenna array rectangular dual polarized array 1x3. Antena array ini disusun dengan jarak antar tepi antena sebesar  $\lambda_g/2$ . Pada pengukuran antena ini menggunakan skema pengukuran dengan jumlah antena ganjil. Tujuan menggunakan metode ini agar bisa melihat pengaruh mutual coupling dengan pengaruh antena 2 terhadap 1

maupun antenna 1 terhadap antenna 3. Agar lebih jelas bisa dilihat pada skema gambar berikut



Gambar 4. 28 Penampang Antena Array

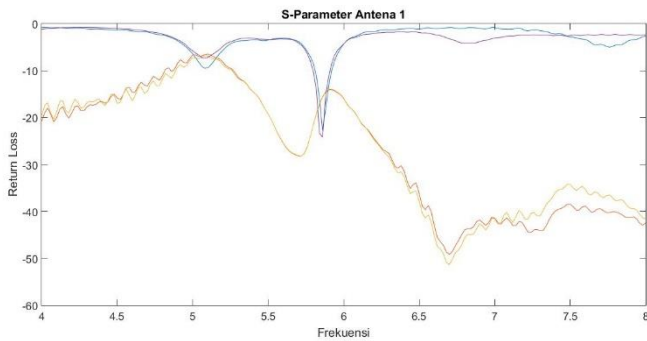
Skema pengukuran antenna ini adalah dengan membandingkan pengaruh port dari mutual coupling antenna tersebut.

Tabel 4. 2 Mutual Coupling Inspection

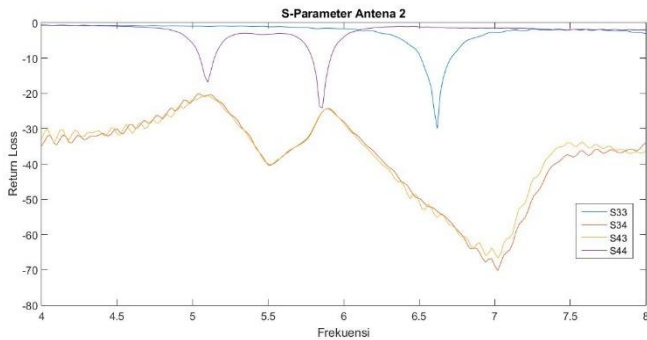
<i>S-Parameter</i>	Keterangan
$S_{12}$	Tidak aman
$S_{14}$	Aman
$S_{16}$	Aman
$S_{13}$	Aman
$S_{15}$	Aman
$S_{21}$	Tidak aman
$S_{23}$	Aman
$S_{25}$	Aman
$S_{24}$	Aman
$S_{26}$	Aman
$S_{35}$	Aman
$S_{36}$	Aman
$S_{46}$	Aman
$S_{45}$	Aman



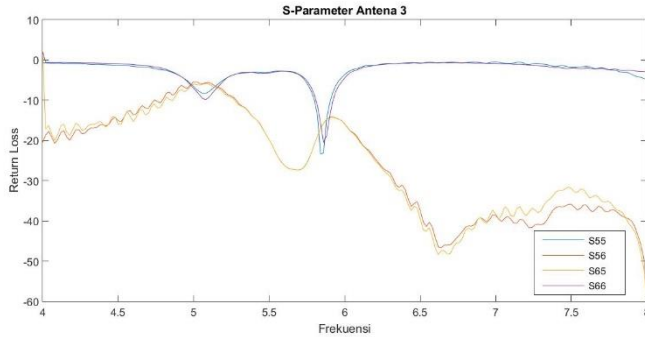
Indikator pada antenna ini yang menyatakan nilai mutual coupling tidak aman ditunjukkan oleh nilai *S-Parameter* pada  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{34}$ ,  $S_{43}$ ,  $S_{56}$ ,  $S_{65}$ . Pengertian antenna tersebut memiliki kriteria tidak aman dalam mutual coupling ketika nilai *S-Parameter* selain Return Loss memiliki nilai lebih besar dari  $-20$  dB. Pada tabel 4.2 tidak dicantumkan selain nilai  $S_{12}$  dan  $S_{21}$  dikarenakan antenna lainnya identik. Sehingga nilai yang sama untuk nilai antenna lainnya adalah sama.



Gambar 4. 29 *S-Parameter* Pengukuran Antena Slot Rectangular ke-1

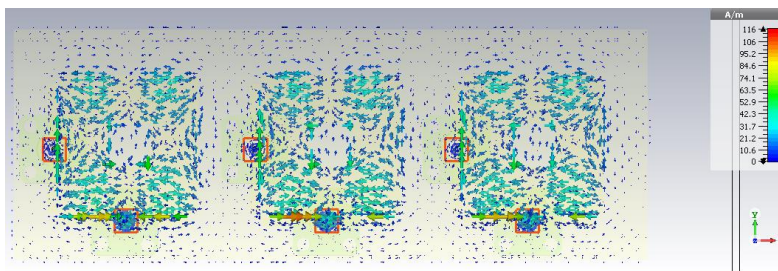


Gambar 4. 30 *S-Parameter* Pengukuran Antena Slot Rectangular ke-2

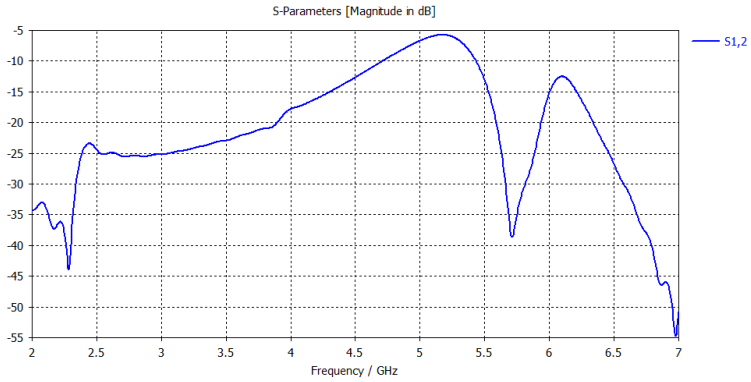


Gambar 4. *S-Parameter* Pengukuran Antena *Slot Rectangular* ke-3

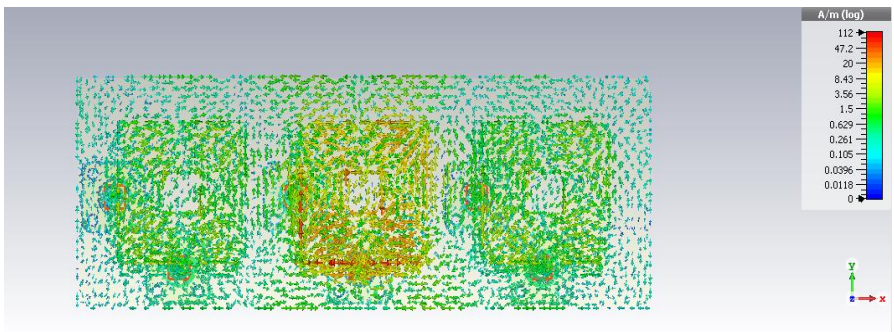
Untuk lebih melihat bagaimana proses interferensi energi pada antena, bisa dilihat pada gambar yang menampilkan visualiasi antena array ini ketika bekerja bersama-sama. Tidak ada energi yang memiliki intensitas besar yang menginterferensi antena kepada antena yang lainnya. Energi terbesar hanya pada satu elemen single antena. Sehingga dari gambar 4.27 tersebut bisa menjawab pengaruh *S-Parameter* pada antena tersebut.



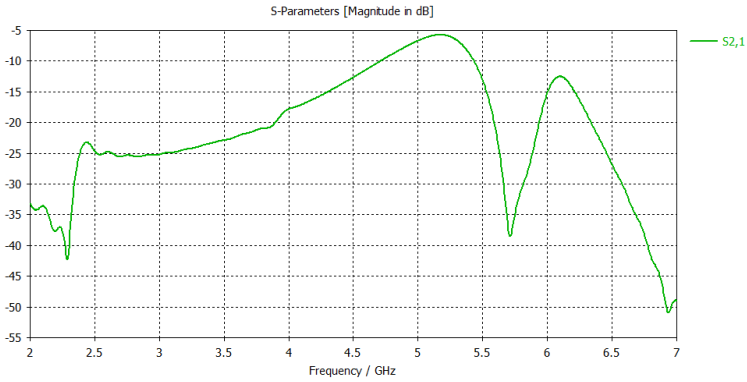
Gambar 4. 31 Surface Current Antena *Slot Rectangular* Array 1x3



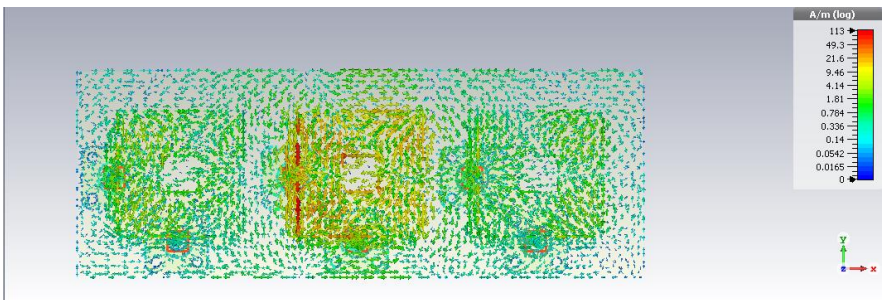
Gambar 4. 32  $S_{12}$  Simulasi Antena *Slot Rectangular*



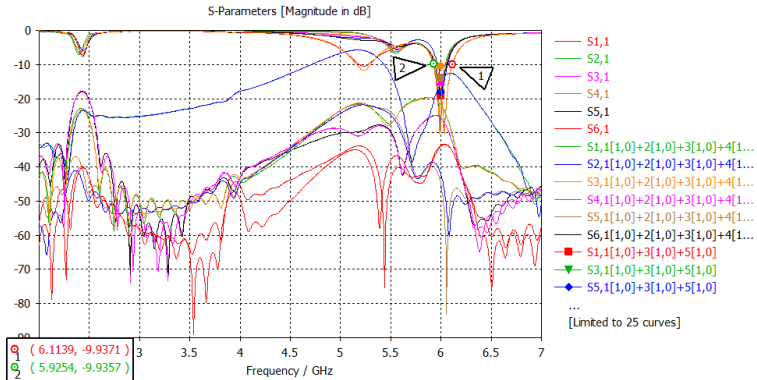
Gambar 4. 33 Surface Current Antena *Slot Rectangular* ke-1 port 1



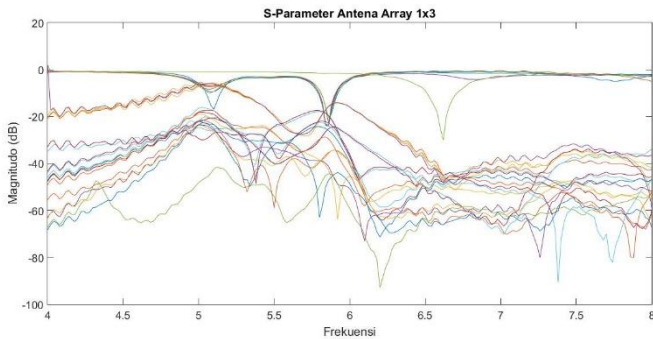
Gambar 4. 34  $S_{21}$  Simulasi Antena *Slot Rectangular*



Gambar 4. 35 Surface Current Antena *Slot Rectangular* ke-1 port 2

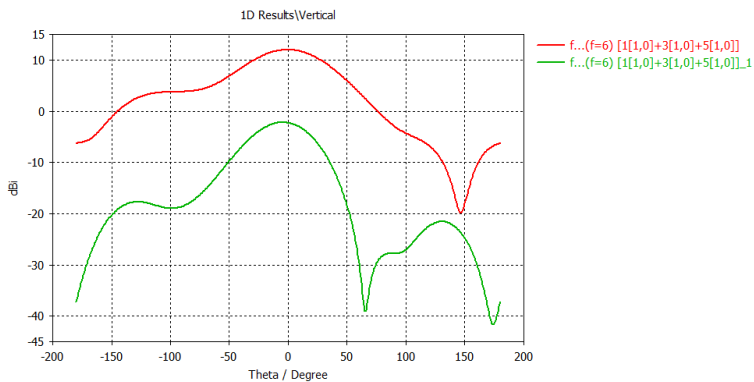


Gambar 4. 36 *S-Parameter* Simulasi

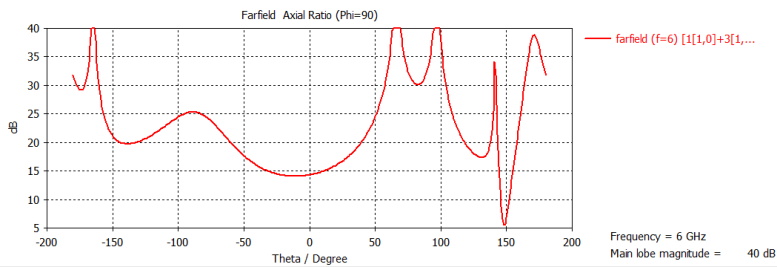


Gambar 4. 37 *S-Parameter* Pengukuran

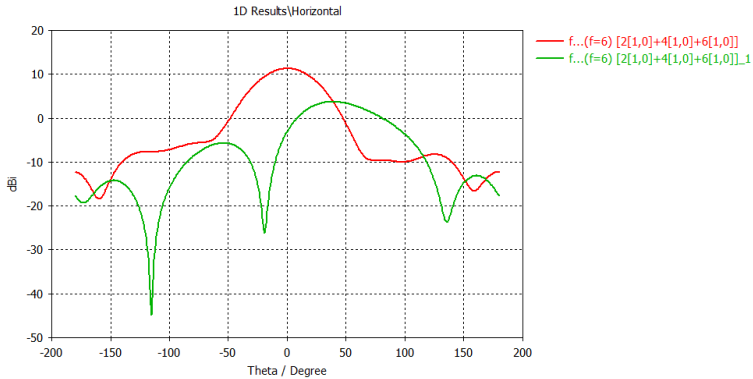
Selanjutnya adalah analisa mengenai *Co-Polar* dan *Cross-Polar* pada antenna polarisasi vertikal. Setelah dibandingkan data hasil simulasi CST bagian *Co-Polar* dan *Cross-Polar* yang ditampilkan pada gambar 4.34. Bisa dilihat bahwa nilai *Co-Polar* mencapai sekitar 11 dBi dibandingkan dengan nilai *Cross-Polar* yang berada dibawah 0 dB. Dari hasil tersebut, antenna ini memiliki karakteristik yang diinginkan. Untuk polarisasi antenna ini memiliki polariasi linier sesuai alasan yang ada pada tabel 4.1



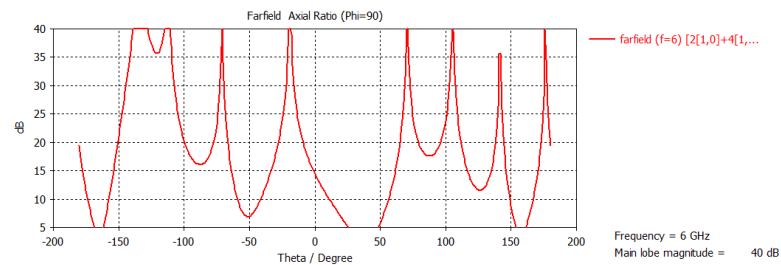
Gambar 4. 38 *Co-Polar* dan *Croos-Polar* Port Ganjil Antena Array



Gambar 4. 39 Axial Ratio port Ganjil Antena Array



Gambar 4. 40 *Co-Polar* dan *Croos-Polar* Port Genap Antenna Array



Gambar 4. 41 Axial Ratio Port Genap Antenna Array

Selanjutnya adalah analisa mengenai *Co-Polar* dan *Cross-Polar* pada antenna polarisasi horizontal. Setelah dibandingkan data hasil simulasi CST bagian *Co-Polar* dan *Cross-Polar* yang ditampilkan pada gambar 4.36. Bisa dilihat bahwa nilai *Co-Polar* mencapai sekitar 10 dB. Namun karakteristik antenna ini mempunyai perbedaan pada antenna dengan polarisasi sebelumnya. Pada antenna ini mengalami interferensi pada sudut 50 derajat. Hal ini mempunyai kesamaan pada antenna singlenya. Sehingga kesalahan ini diakibatkan salah desain pada bagian polarisasi horizontal. Dari hasil tersebut, antenna ini memiliki karakteristik yang diinginkan. Untuk polarisasi antenna ini memiliki polariasi linier sesuai alasan yang ada pada tabel 4.1

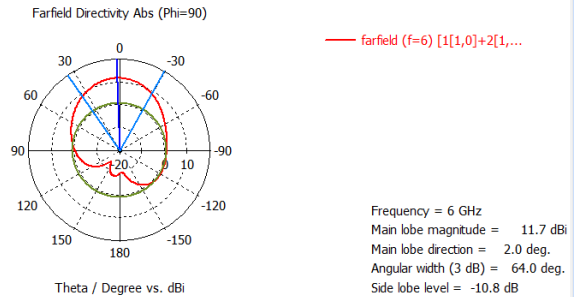
Untuk impedansi input antenna memiliki kriteria: (i) 51 Ohm ; (ii) 52,17 Ohm ; (iii) 51,96 Ohm ; (iv) 7,61 Ohm; (v) 51,13 Ohm ; dan (vi) 51,13 Ohm. Pada port (iv) menjawab mengapa pada gambar 4.27 terjadi pergeseran frekuensi. Hasil pengukuran antenna ini bisa dilihat pada gambar 4.41 – 4.47.



Gambar 4. 42 Surface Current Antena *Slot Rectangular* Array 1x3

Pada bagian akhir adalah bentuk pola medan jauh pada antenna sub array ini. Pada antenna ini memiliki *Main lobe* direction 2 derajat dengan *HPBW* sebesar 64 derajat. Sehingga jika dibandingkan dengan antenna BTS untuk mencakup sisi dari sebuah BTS, maka antenna ini memenuhi kriteria tersebut.





Gambar 4. 43 Farfield Polar Antena *Slot Rectangular* Array 1x3



Gambar 4. 44 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 1



Gambar 4. 45 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 2



Gambar 4. 46 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 3



Gambar 4. 47 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 4



Gambar 4. 48 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 5



Gambar 4. 49 Pengukuran Impedansi Antena Array Port 6

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian yang sudah dibahas pada bab-bab sebelumnya maka dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Desain antenna *Microstrip* Massive MIMO ini memiliki dual polarisasi. Polarisasi pertama adalah polarisasi vertikal dan polarisasi kedua adalah polarisasi horizontal. Sehingga dari karakteristik tersebut dimana sebuah antenna memiliki dua polarisasi, maka hal ini bisa membuat dimensi antenna menjadi lebih kecil.
2. Antenna disebut sebagai *Cross-Polar* dikarenakan pada parameter antenna nilai *Cross-Polar* memiliki nilai yang tinggi seperti nilai *Co-Polar*.
3. Antenna *Slot Rectangular* memiliki spesifikasi dual polarisasi linier baik vertikal maupun horizontal, *HPBW* antenna ini 60 derajat, frekuensi kerja pada 6 GHz dengan bandwidth 100 MHz, dan nilai mutual coupling yang rendah.
4. Antenna Stacked memiliki spesifikasi dual polarisasi linier baik vertikal maupun horizontal, *HPBW* antenna ini 120 derajat, frekuensi kerja antenna pada frekuensi 5,5 GHz dengan bandwidth 200 MHz
5. Semakin lebar gap antara pecatu dengan resonator maka mengakibatkan energi yang dipancarkan berkurang sehingga mengakibatkan Return Loss antenna menurun.
6. Penambahan *Substrate* pada probe *feeding* bisa memperlebar bandwidth dari antenna. Namun disatu sisi juga malah menghilangkan frekuensi kerja antenna slotnya.
7. Perubahan struktur *feeding* sangat mempengaruhi kinerja antenna stacked. Perubahan lebar feed dapat mempengaruhi kinerja Return Loss antenna.
8. Perubahan lokasi pencatu pada *feeding* structure antenna stacked sangat mempengaruhi VSWR antenna

9. Mutual Coupling tidak terlalu signifikan terjadi ketika jarak antar elemen tidak lebih kecil sebesar  $\lambda/2$

## 5.2 Saran

1. Beberapa bentuk pengembangan dari desain antena *Microstrip* yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat digunakan dalam perancangan antena *Microstrip* lainnya.
2. Proses desain pada antena stacked utamanya membuat *feeding* line structure perlu diperhitungkan dengan rinci.
3. Dalam persiapan sebelum proses fabrikasi diharapkan mempersiapkan connector terlebih dahulu, diutamakan barang impor karena kualitasnya lebih bagus.
4. Saat proses pengukuran diharapkan sudah mengetahui dan paham tentang praktikum antena di laboratorium B.306 Departemen Teknik Elektro ITS
5. Pada simulasi, Untuk bidang *E-Plane* terletak pada  $\phi=90$  derajat sedangkan bidang *H-Plane* terletak pada  $\phi=0$  derajat
6. Untuk simulasi massive MIMO untuk melihat pola radiasi bisa menggunakan program matlab dengan mengambil data *E-Plane* dikalikan dengan antena faktor.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design* Third Edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [2] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design* Third Edition, John Wilwy & Son, inc, 2012.
- [3] X. J. a. T. J. Jiahe Mei, "A Low Mutual Coupling Array Antenna Based on E-shaped Structure With Spiral," in *Progress In Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS)*, St Petersburg, 2017.
- [4] Nurhayati, "Comparison Study of S-Band Vivaldi-Based Antennas," in *IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, Bali, 2016.
- [5] U. Hakiki, *Desain, Analisis, dan Fabrikasi Antena Microstrip Slot Array untuk Spesifikasi Surveillance Radar pada Frekuensi S-Band*, Surabaya, 2017.
- [6] Yue Gao, Rumbo Ma, Yapeng Wang, Qianyun Zhang, and Clive Parini, "Stacked Patch Antenna With Dual-Polarization and Low Mutual Coupling for Massive MIMO," in *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, 2016.
- [7] PANG Xingdong, HONG Wei, YANG Tianyang, LI Linsheng, "Design and Implementation of An Active Multibeam Antenna System with 64 RF Channels and 256 Antenna Elements for Massive MIMO Aplication 5G Wireless Communications," *China Communication*, no. New Antenna Technology For 5G Wireless Communications, 2014.

- [8] Zehai Wu, Biquan Wu, Zhenhua Su, Xiunying Zhang, "Development Challenges for 5G Base Station Antennas," in *IEEE*, 2018.
- [9] H. Li, "A Dual-Band Polarized Diversity *Microstrip* MIMO Antenna with High Isolation for WLAN Application," in *IEEE*, 2016.
- [10] Raihan Santoso, Rina Pudji Astuti, Bambang Setia Nugroho, "Perancangan dan Analisis Antena Massive MIMO Mikrostrip dengan Pencatutan PROXIMITY FEED Berpolarisasi Cross Linier untuk Komunikasi 5G (28 GHz)," in *Telkom University*, Bandung, 2017.
- [11] Huawei, "5G Spectrum Public Policy Position," Shenzhen, 2017.
- [12] The Voice for 5G in the Americas, "5G Spectrum Recommendations," 4G Americas, 2015.



# Lampiran

## Lampiran 1

Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro – ITS

EE184801 TUGAS AKHIR – 6 SKS

05 SEP 2018

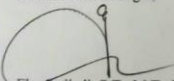
Nama Mahasiswa : Faizal Wakhid Nurrokhman  
Nomor Pokok : 0711144000034  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Ganjil Tahun. 2018/2019  
Dosen Pembimbing : 1. Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D  
2. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D


Judul Tugas Akhir : **Desain Antena Radar Laut (*Coastal Radar*) *Microstrip Crosspolar* pada frekuensi *S-Band* untuk monitoring kapal.**  
(*Design of Coastal Radar Antenna Crosspolar Microstrip at S-Band Frequency for Ship Monitoring*)


**Uraian Tugas Akhir :**  
Indonesia merupakan negara republik berbentuk kesatuan yang memiliki 17.500 pulau-pulau besar maupun kecil yang dihubungkan dengan laut-laut. Laut Indonesia memiliki luas 2/3 dari luas total wilayahnya. Menurut data dari Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman, luas laut Indonesia mencapai 5,8 juta km<sup>2</sup> yang terdiri dari 3,1 juta km<sup>2</sup> perairan teritorial dan 2,7 juta km<sup>2</sup> perairan Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE). Wilayah yang luas merupakan sebuah potensi sumber daya untuk kemajuan bangsa. Maka dari itu, Indonesia memerlukan sebuah teknologi untuk menjaga wilayahnya. Salah satunya adalah Radar.


Teknologi radar terdiri dari berbagai sub-sistem, salah satunya adalah antena. Antena digunakan sebagai komponen untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik ataupun sebaliknya. Antena radar memiliki standar spesifikasi khusus yang bertujuan untuk memaksimalkan kinerjanya. Dalam tugas akhir ini akan dibuat antena radar laut (*coastal radar*) *microstrip crosspolar* pada frekuensi *S-band* yang memenuhi kriteria spesifikasi tersebut. Metode pengerjaan tugas akhir ini dengan simulasi menggunakan *software CST Microwave Studio* dan pengukuran secara langsung di laboratorium.


**Kata Kunci :** *Antena, Crosspolar, Microstrip*

Dosen Pembimbing 1,  
  
Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D  
NIP : 1972100012003121002

Dosen Pembimbing 2,  
  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D  
NIP : 19701111993031002

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1  
  
Dedet C. Rijwan, ST, M.Eng, Ph.D.  
NIP : 197311192000031001

Menyetujui,  
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi  
  
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D  
NIP : 19701111993031002



## Lampiran 2

Pengukuran Pola Radiasi Antena Slot Rectangular			
vertikal		horizontal	
Sudut	Daya (dBm)	Sudut	Daya (dBm)
0	-40	0	-43
20	-42	20	-44
40	-45	23	-46
60	-57	3	-45
80	-55	17	-50
100	-53	37	-55
120	-53	57	-57
140	-53	77	-54
160	-52	97	-56
180	-52	117	-56
200	-50	137	-53
220	-47	157	-53
240	-51	177	-54
260	-50	197	-48
280	-53	217	-45
300	-57	237	-43
320	-40	257	-43
340	-41	277	-44
360	-49.5	297	-43

### Lampiran 3

Pengukuran Pola Radiasi Antena Stacked			
Port 1		Port 2	
Sudut	Daya (dBm)	Sudut	Daya (dBm)
0	-47	0	Kesalahan penyolderan Port
20	-46	20	
40	-58	40	
60	-52	60	
80	-49	80	
100	-47	100	
120	-50	120	
140	-52	140	
160	-40	160	
180	-40	180	
200	-38.96	200	
220	-37.16	220	
240	-40	240	
260	-45	260	
280	-50	280	
300	-51	300	
320	-46	320	
340	-44	340	
360	-45	360	

Lampiran 4



## **Lampiran 5**

## **Lampiran 6**

## Riwayat Hidup



Penulis terlahir dari Bapak yang ragu dan malu serta terkesima di malam pertama dengan Ibu sehingga penulis terjatuh dari surga menuju dunia ke Purworejo, 05 Oktober 1996. Riwayat pendidikan penulis dari bersekolah bercorak agama di TK ABA II Kutoarjo dan melanjutkan pendidikan dasarnya di SD Muhammadiyah Kutoarjo. Kemudian pendidikan menengahnya dilanjutkan di SMP N 3 Purworejo dan SMA N 1 Purworejo.

Waktu kuliah memiliki masa yang banyak mengubah hidup penulis. Banyak pembelajaran mengenai hidup sosial, menonton konser dari Dream Theater hingga GNR, mengikuti sertifikasi, pembelajaran politik, mengicip lomba karya tulis, bertemu orang-orang keren, diskon buku dengan KTM, mengikuti demo-demoan buruh dan hingga mengikuti seminar gratis untuk mencari makanan. Semua itu bisa dilakukan saat masa kita menginjak dunia kampus. Dunia kampus menawarkan banyak hal untuk dijelajahi daripada dunia-dunia sebelumnya.

Pengalaman penulis adalah sebagai koordinator Asisten Praktikum DST 2017 dan koordinator Asisten Praktikum Telekomunikasi 2018. Kami sebenarnya mempunyai impian untuk membuat sebuah pelatihan bidang telekomunikasi seperti CST, Microtik, USRP, Drive Test, ataupun Optik. Namun karena keterbatasan waktu dan peserta dari kalangan internal yang kurang bergairah, maka kami mengubur dalam-dalam mimpi itu. Semoga kalian yang membaca ode saya ini bisa meneruskan impian kami.

Akhir kata, tulisan saya menjadi sebuah ode bagi mahasiswa tua yang sudah bukan masanya lagi hidup di kampus. Menurut Freddie Mercury vokalis terbesar yang pernah ada dari salah satu

band rock terbesar juga, Quenn “Menjadi Tua itu tidak menyenangkan”. Dari saya hanya buku tugas akhir ini yang bisa dijadikan peninggalan, tidak ada peninggalan lainnya yang lebih bermanfaat dari buku ini. Semoga buku ini bermanfaat untuk kalian sebagai bekal untuk membangun negeri kita.

Jika ingin menghubungi penulis dan ingin bertanya apapun bisa melakukan pencarian di sosial media apapun dengan kata kunci : Faizal Wakhid Nurrokhman.